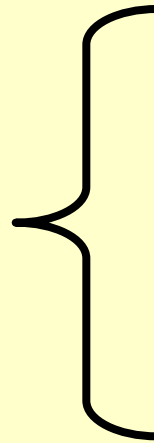


# RIZOSFERA

volume di suolo che subisce l'influenza delle radici



Esterna

Interna

Rizopiano = interfaccia  
suolo-radice

Nella rizosfera troviamo :

1. *Microrganismi* → associazione radici- microrganismi

- possono svilupparsi sia all'esterno che all'interno delle radici
- possono ricoprire fino al 10% della superficie radicale
- Influenza reciproca sullo sviluppo delle specie microbiche

• **Inibizione** della crescita radicale → Fitotossine

• **Stimolazione** della crescita radicale → Micorrize

## *2. Materiali organici liberati dalle radici:*

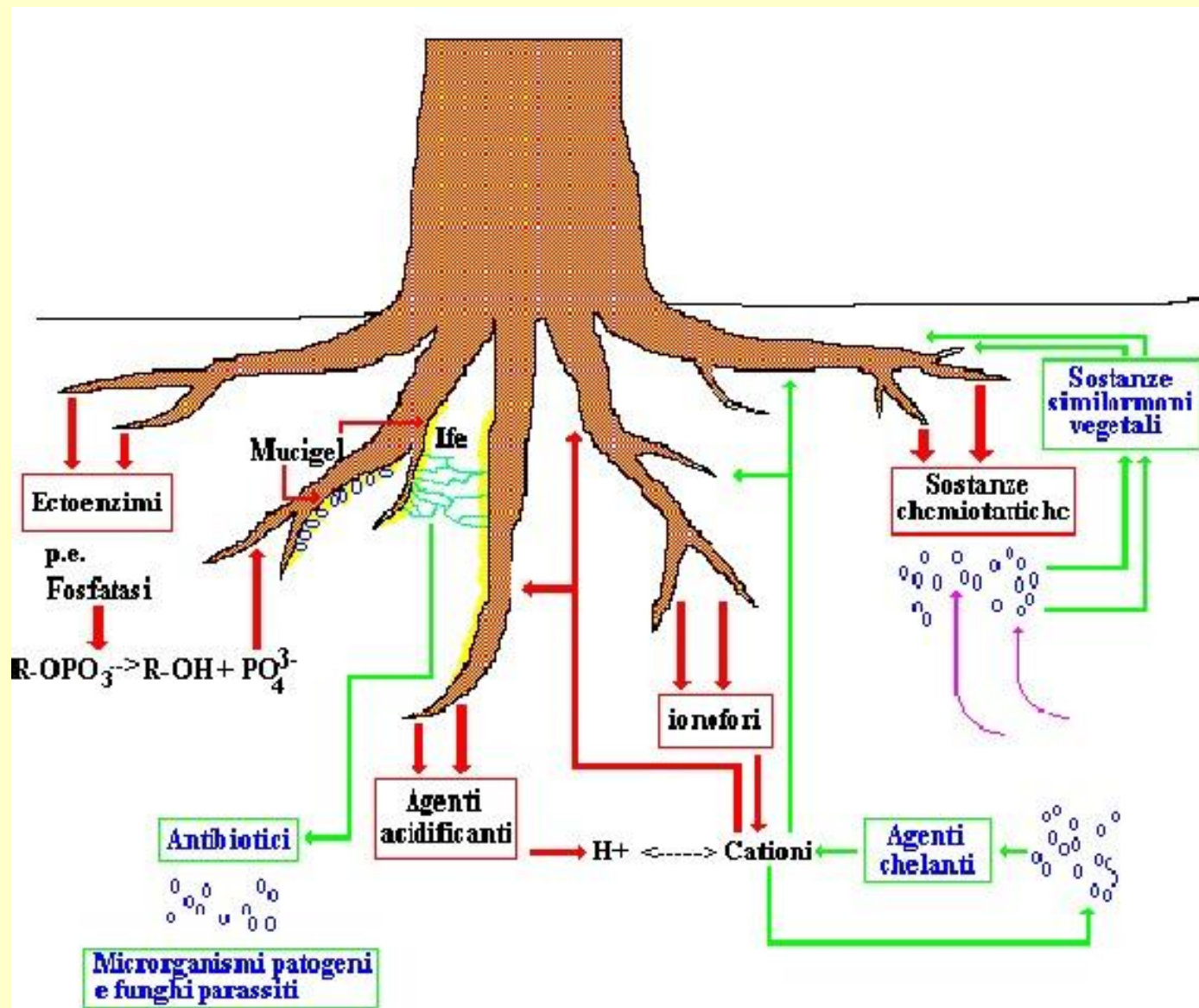
- **Essudati** composti a basso peso molecolare
- **Ectoenzimi** (fosfatasi)
- **Lisati** prodotti da autolisi delle cell epidermiche più vecchie e dall'attività batterica
- **Mucillagini** composti complessi di natura polisaccaridica

## *La rizosfera è un ambiente altamente reattivo:*

- Notevole attività biologica
- Reazioni di complessazione e redox
- Elevata concentrazione di H<sup>+</sup>



**Aumento della  
disponibilità di  
nutrienti per le  
piante**

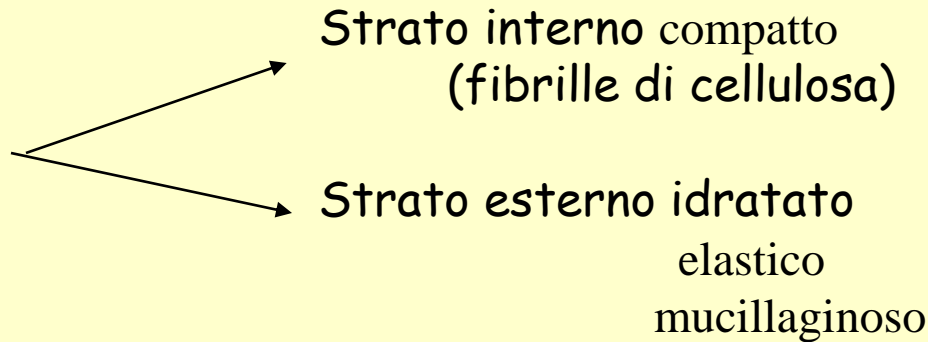


# Interfaccia suolo-radice

Le parti più giovani della radice sono le più attive metabolicamente:

- Elevato assorbimento
- Produzione di essudati

Le **pareti cellulari**  
Complesso strutturale  
multilamellare

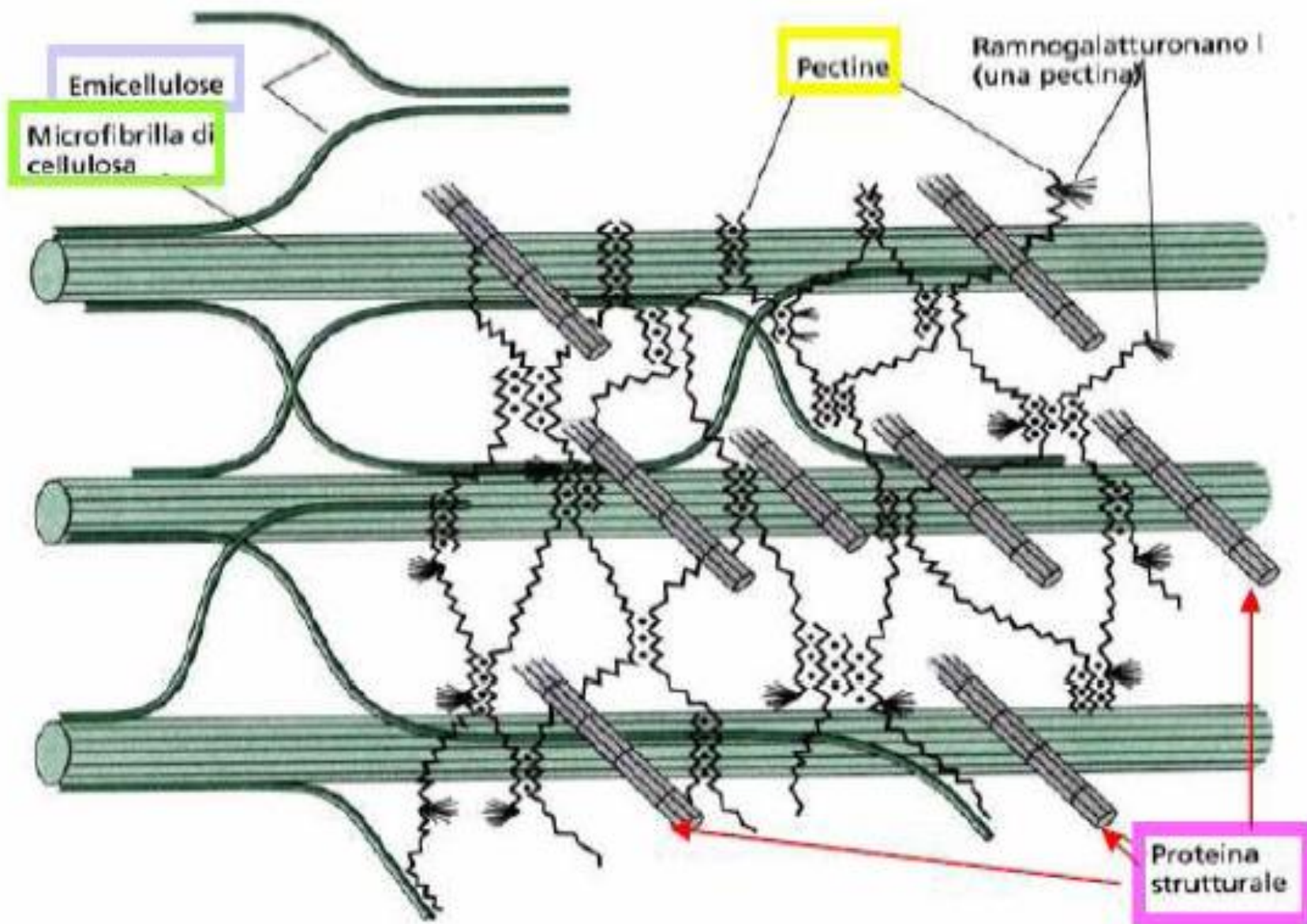


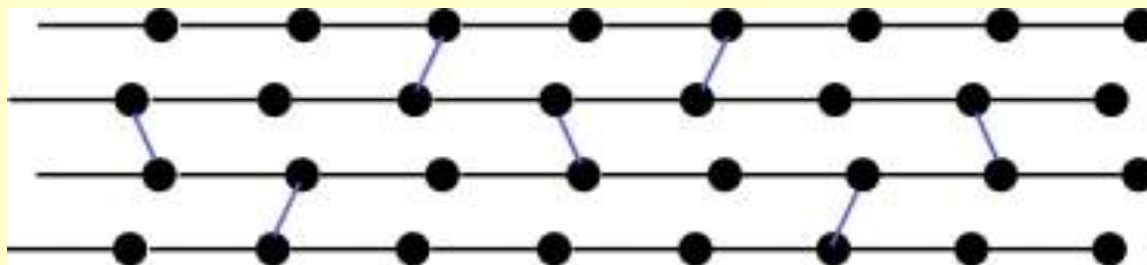
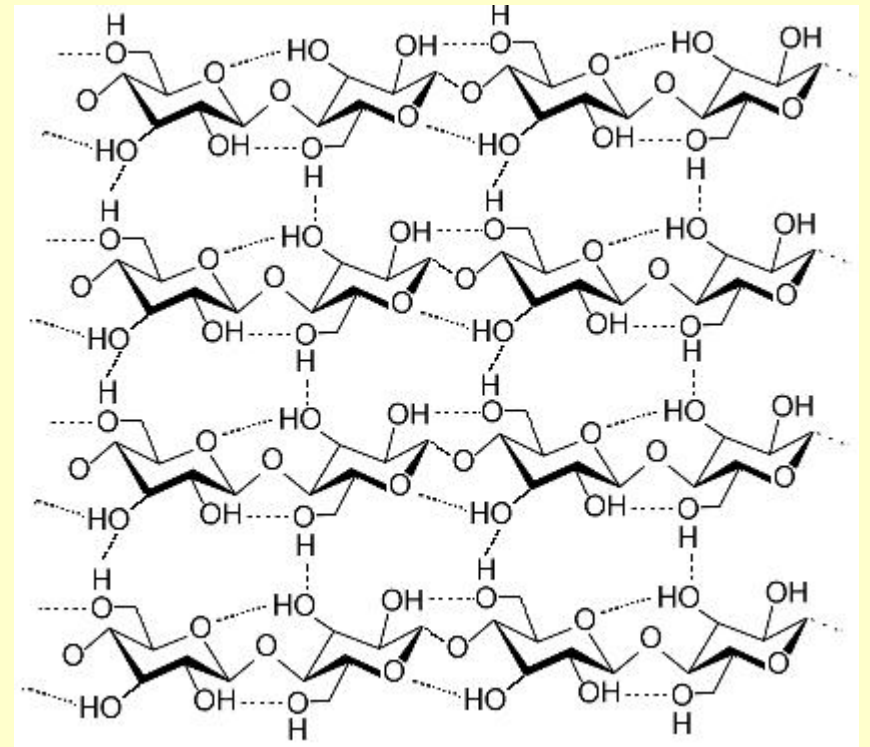
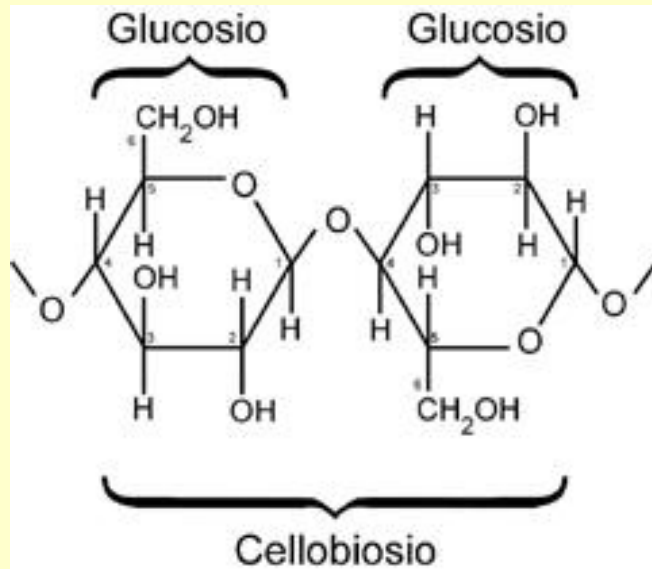
**Film mucillaginoso** all'interfaccia suolo-parete  
cellulare continuamente liberato dallo strato esterno  
dell'epidermide

**Le mucillagini** sono per lo +  
di natura polisaccaridica  
vengono prodotte nelle vescicole  
del Golgi delle cellule  
epidermiche della cuffia radicale  
e poi secrete mediante esocitosi

favoriscono

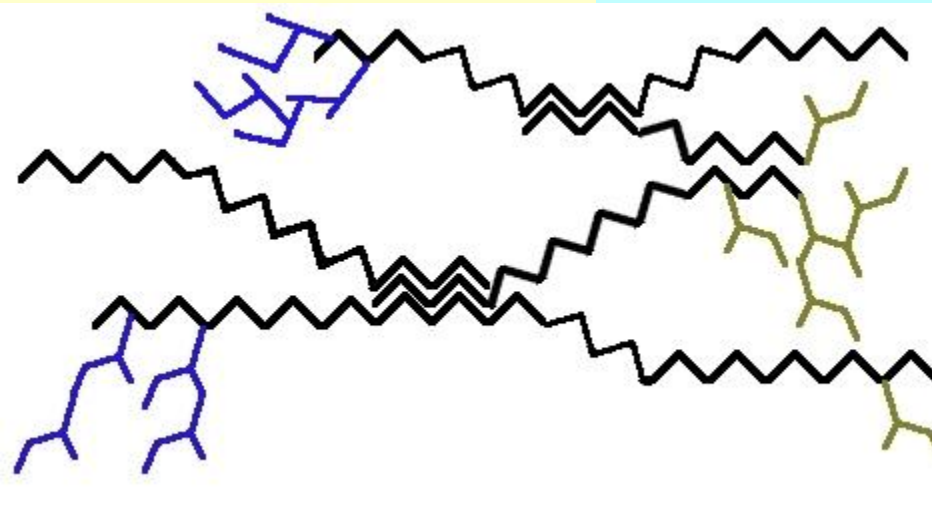
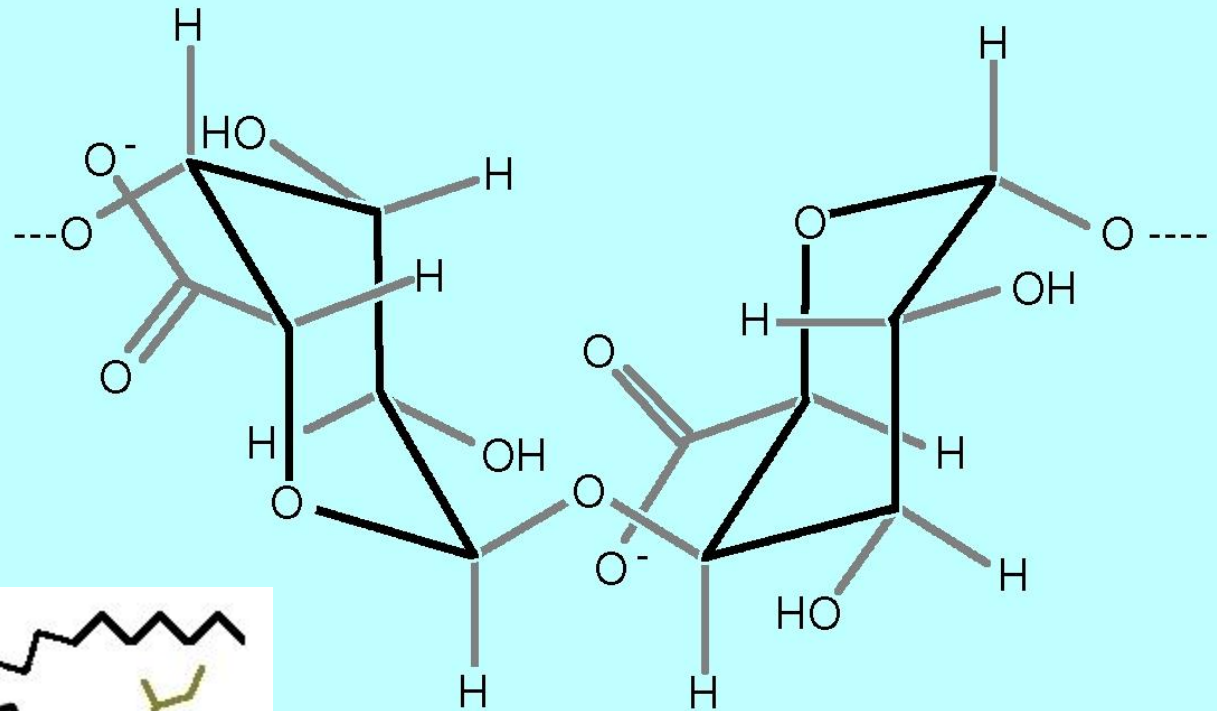
- 
- Penetrazione delle radici
  - Processi di scambio
  - Accumulo di nutrienti
  - Colonizzazione microbica





# PECTINA

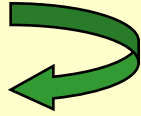
## Due molecole di Acido- $\alpha$ -D-Galatturonico



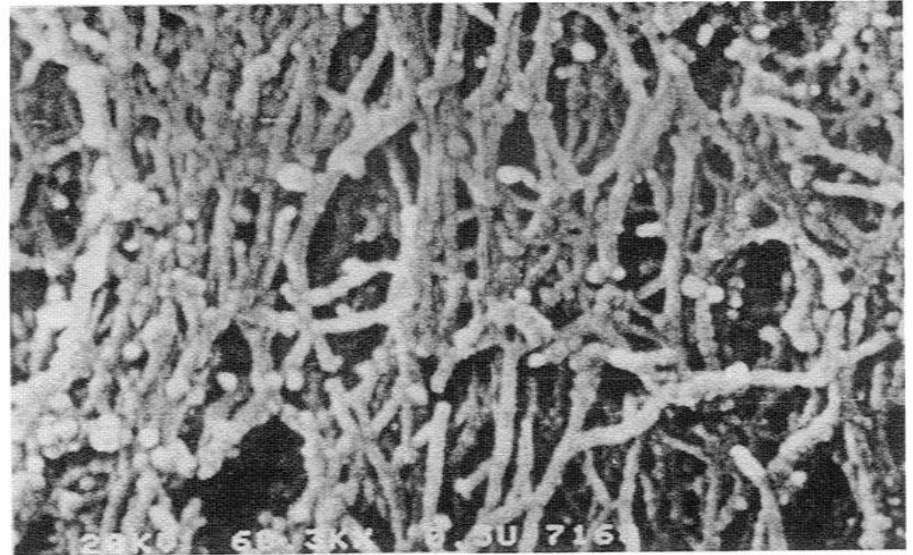
*Sono polimeri lineari, costituiti da zuccheri acidi, in prevalenza da acido glucuronico e acido galatturonico, con interposte molecole di xilosio, ramnosio e galattosio.*

# *L'interfaccia mucillaginosa ha struttura fibrillare*

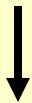
Le fibrille intrecciandosi



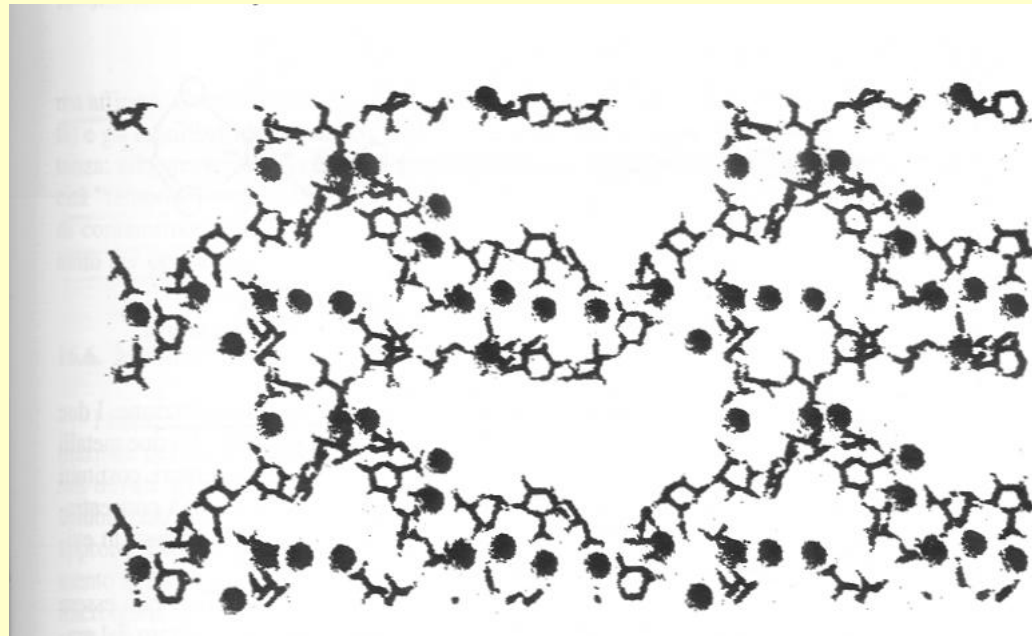
Corpo poroso  
con spazi liberi e  
comunicanti



- Reticolazione dei biopolimeri (pectine)



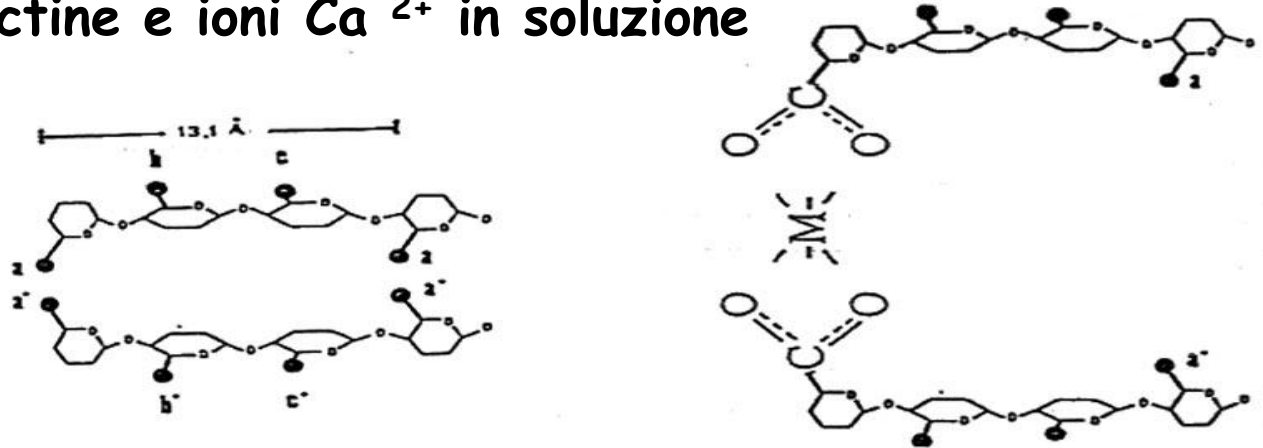
Strato spugnoso





# Reticolazione dei biopolimeri fra gr. $\text{COO}^-$ delle pectine e ioni $\text{Ca}^{2+}$ in soluzione

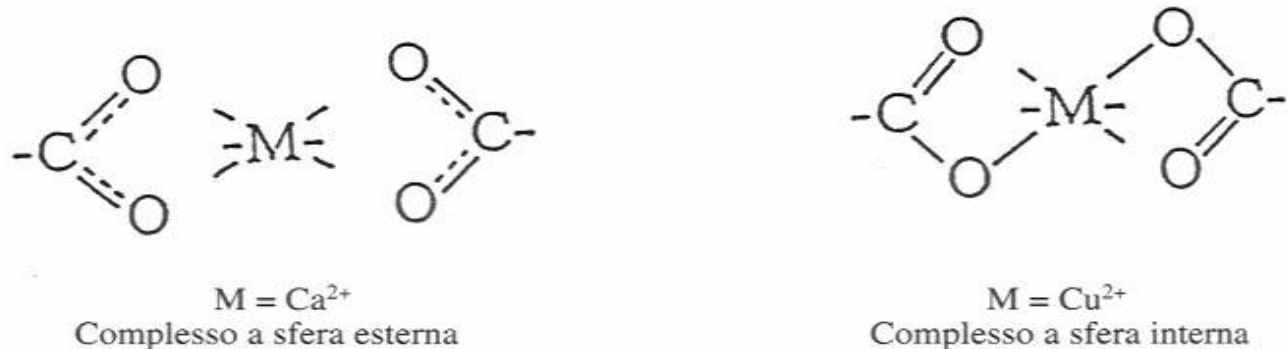
Formazione di  
**Ponti ionici**  
stabilizzati da  
legami H



**Il volume dello Spazio libero dipende dalle interazioni  
dei metalli con i biopolimeri:**

• **Complesso a sfera aperta:**  $\text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$  di idratazione      ampio grado di idratazione del reticolo      **notevole elasticità e ampio volume dello spazio libero**

• **Complesso a sfera interna:**  
è stabile      **volume ridotto dello spazio libero**



# E' importante l'affinità degli ioni per i biopolimeri della componente pectica

L'interazione ione-reticolo dipende :

- caratteristiche dello ione
- pH  $\longrightarrow$  modificazione carica superficiale

Divisione in 3 gruppi:

1. Specie chimiche con  
*scarsa affinità*

{ Molecole neutre di opportune  
dimensioni

2. *Specie ad alta affinità*  
Complessi a sfera aperta

{  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  
 $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$

3. Specie legate come  
Complessi a **sfera interna**

{  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$

$\downarrow$   
Fissazione nell'apoplasto

$\longrightarrow$  movimento molto lento

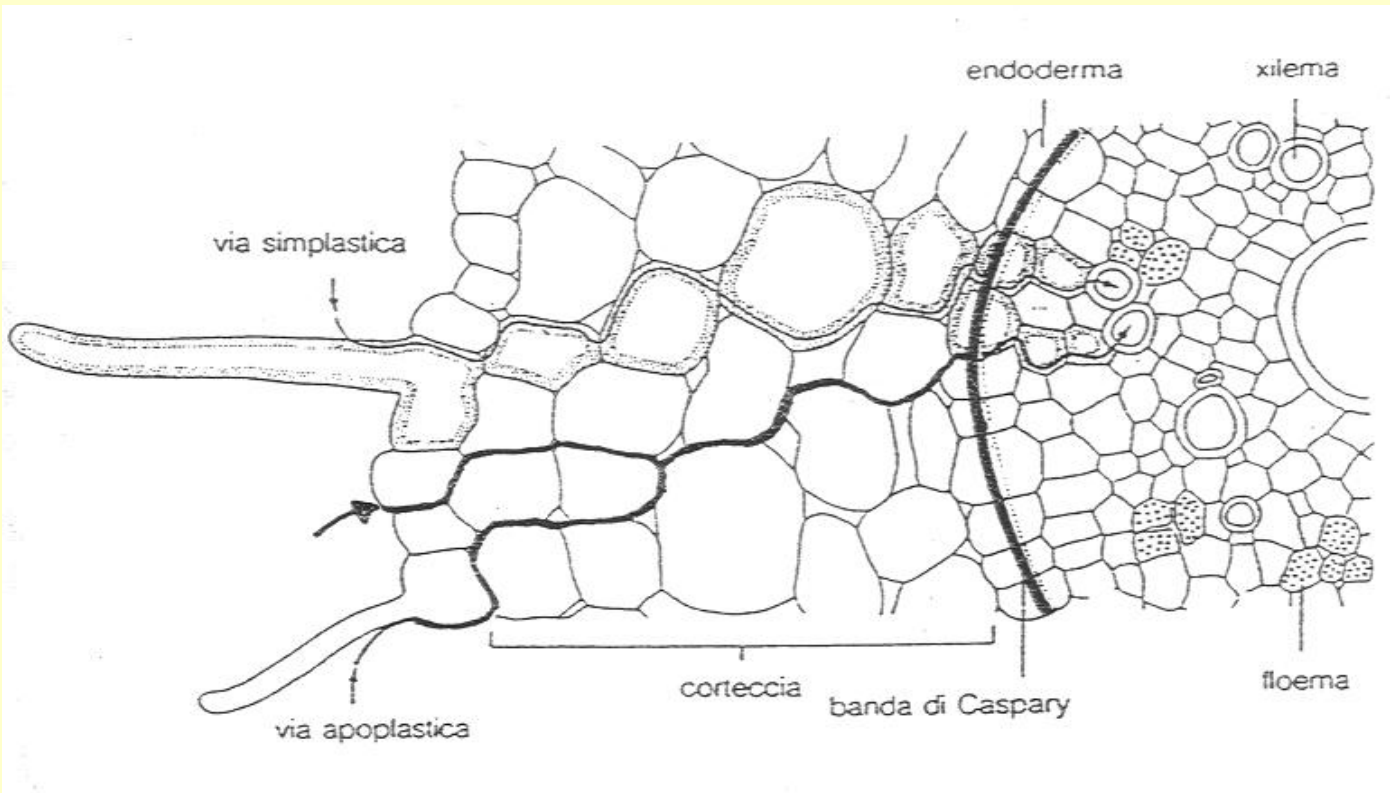
*Il sistema poroso, degli spazi liberi non è un'esclusiva della Interfaccia suolo-radice, ma anche all'interno della radice:*

Pareti cellulari + Spazi intercellulari



*Sistema apoplastico di trasporto*

- Superfici radicali delle cellule del rizoderma
- Pareti e spazi intercellulari della corteccia



*Il volume dello spazio libero ~ 10% del volume totale delle giovani radici*

### 3 TAPPE principali nella traslocazione dell' H<sub>2</sub>O

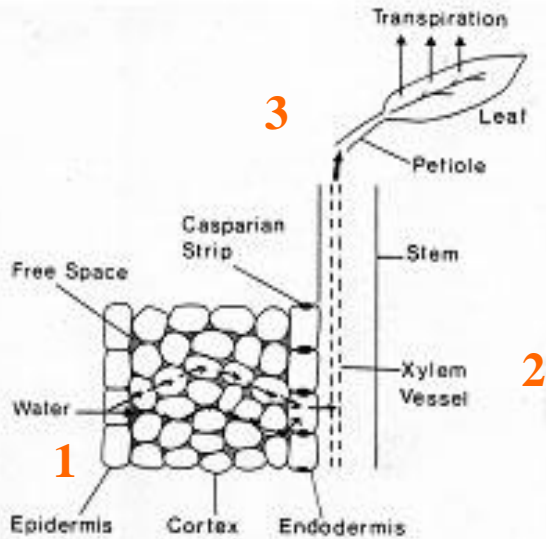


Fig. 4.4 Water pathways in the higher plant.

1. Trasporto centripeto, a breve distanza:

Tessuti corticali → vasi xilematici  
radicali → cilindro centrale

2. Trasporto verticale, a lunga distanza:

Radici → Foglie

3. Rilascio dell' H<sub>2</sub>O come gas:

Interfaccia pianta - atmosfera

$\Psi$  ATMOSFERA <  $\Psi$  SUOLO

Questa differenza è la forza trainante dell' H<sub>2</sub>O

da Suolo → alla pianta → all'atmosfera

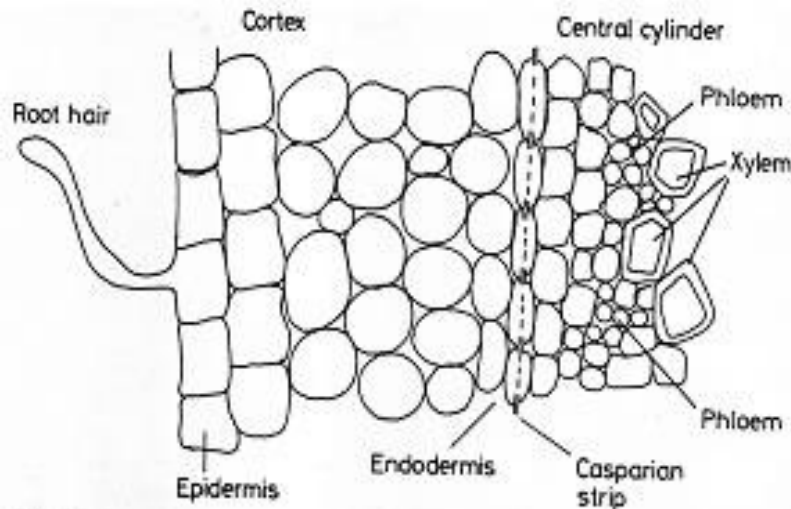
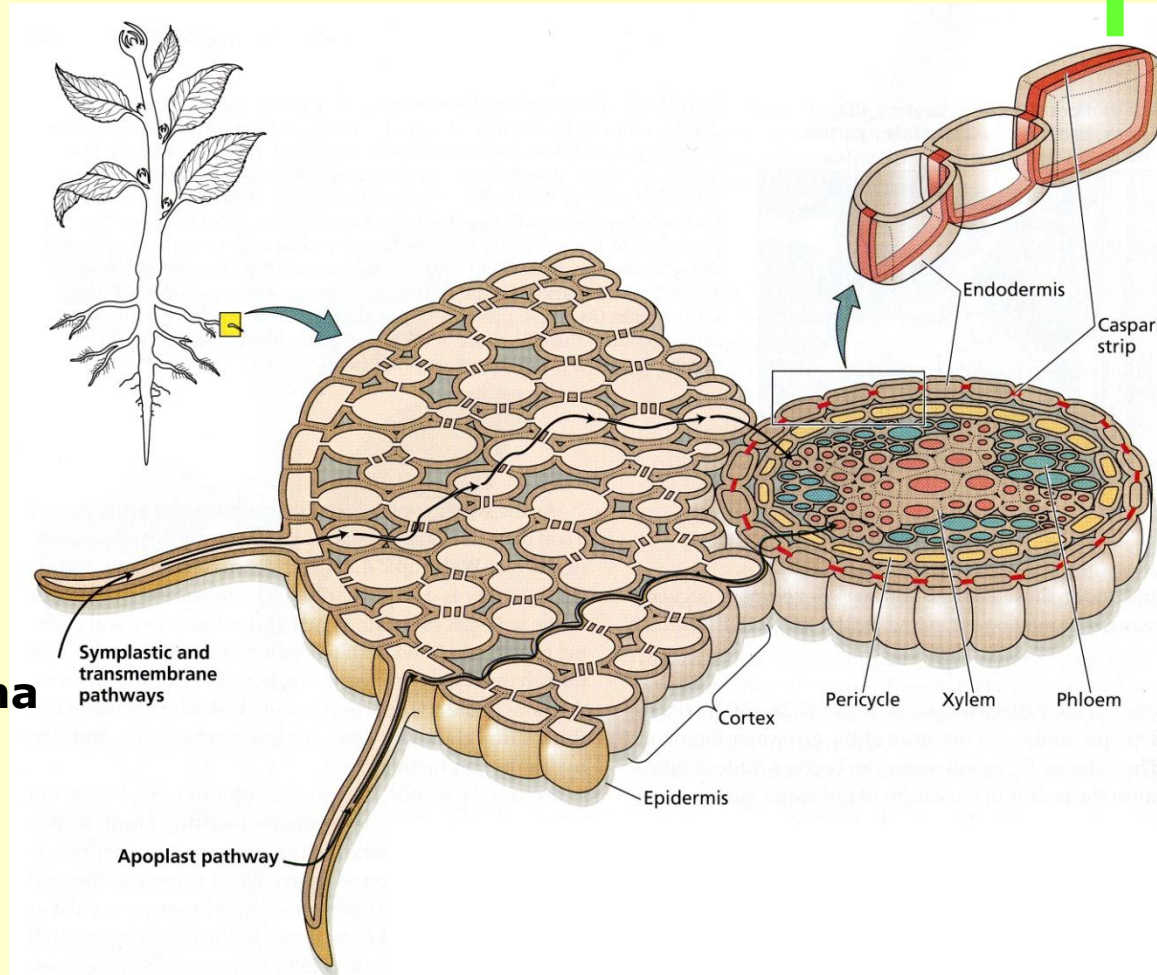


Fig. 4.5 Transverse section of a young root.

# TRASPORTO RADIALE

Assorbimento dell'H<sub>2</sub>O dalle radici

I peli radicali aumentano enormemente la superficie disponibile per l'assorbimento.



**Banda di Caspary**  
parete cellulare radiale nell'endodermid e impregnata di **suberina**

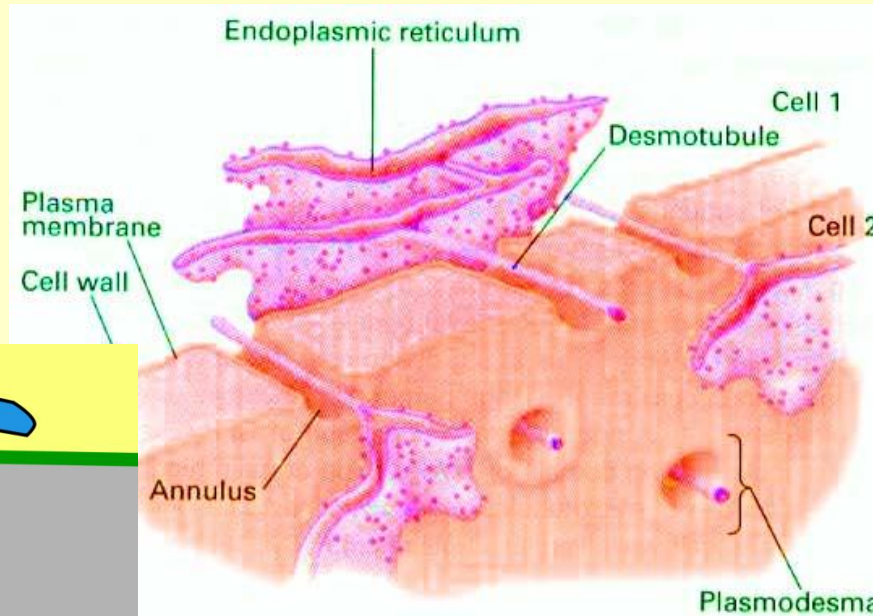
**Apoplastica**  
**Transmembrana**  
**simplastica**

L'H<sub>2</sub>O entra prevalentemente nella zona apicale che non è suberinizzata

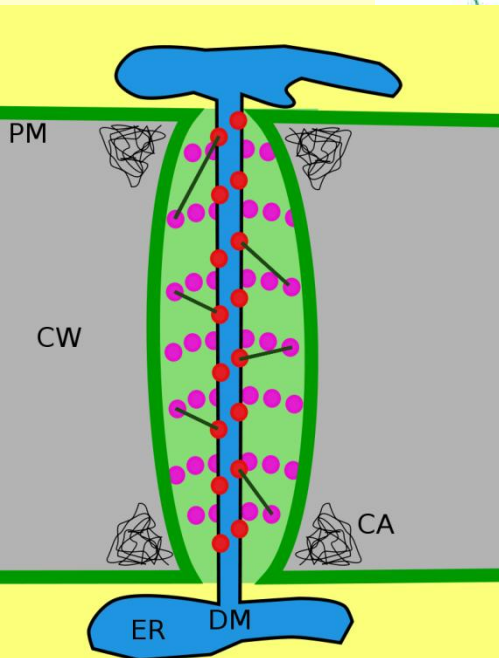
• Il trasporto nel simplasto avviene tramite i

**PLASMODESMI** = sono formati da un canale citoplasmatico attraverso la parete contenente al centro una struttura tubulare

**desmotubulo** = tubulo appiattito di reticolo endoplasmatico fra due cellule adiacenti.



L'ampiezza del canale citoplasmatico è ridotta dalla presenza del *desmotubulo* e delle *proteine*



il trasporto simplastico è selettivo  
È possibile che tali proteine possano chiudere completamente il plasmodesma

Nella **pianta** il **potenziale idrico**  $\Psi_t$  è rappresentato diversamente rispetto al suolo:

$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m$$

$\Psi_p$  = **potenziale di pressione**, uguale alla *pressione idrostatica*

- può essere una componente positiva come Pressione di turgore esercitata dall'acqua nelle cellule
- può essere componente negativa come nello xilema delle piante che traspirano

$\Psi_s$  = **potenziale osmotico** dovuto alla *presenza di soluti* che determinano una

- Diminuzione dell'attività dell'acqua e una
- Riduzione del potenziale chimico

$\Psi_m$  = **potenziale di matrice**

dovuto alle forze di imbibizione o adsorbimento di acqua.

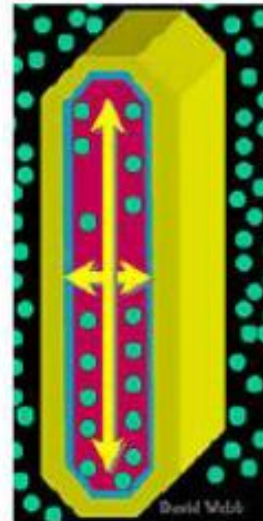
$\Psi_m$  è *importante nel suolo ma nelle cellule è trascurabile.*



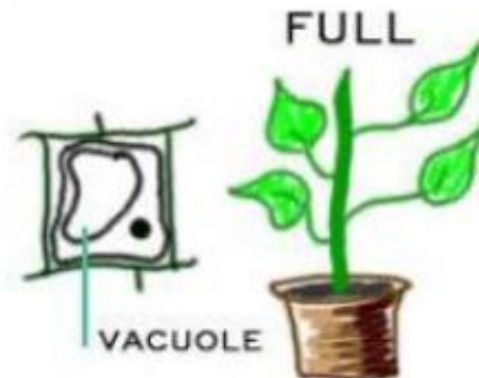
$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_s$$

# Perché la **pressione di turgore** cellulare è importante?

- **distendere le pareti** cellulari durante la crescita delle cellule



- **aumentare la rigidità** meccanica delle cellule e tessuti giovani non lignificati





**Lo xilema** è costituito da 4 tipi di cellule:

1. Fibre
2. cellule parenchimatiche
3. tracheidi
4. articoli dei vasi (o trachee)

Le **cellule parenchimatiche** formano dei raggi che decorrono radialmente

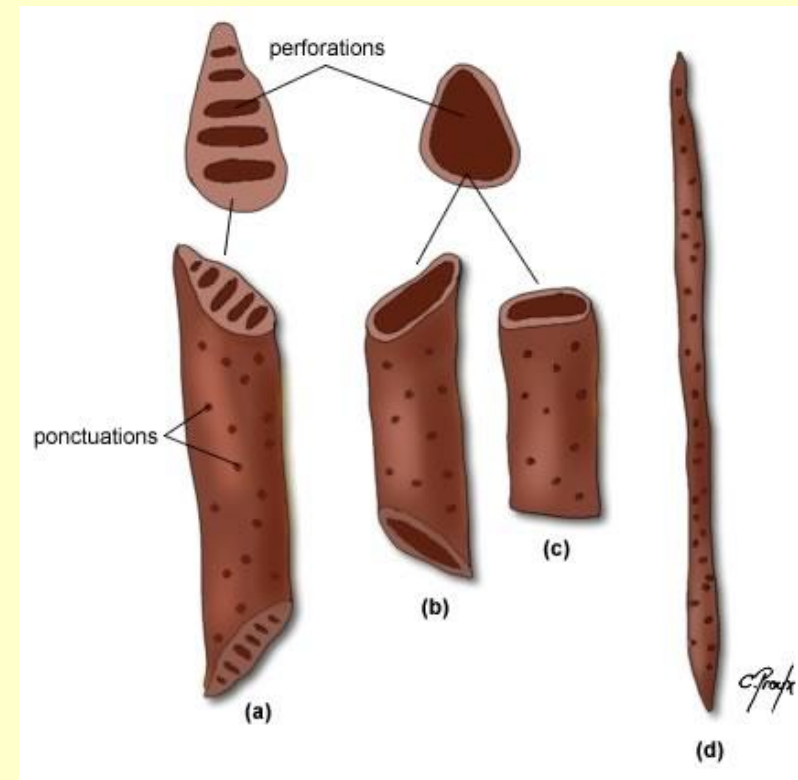
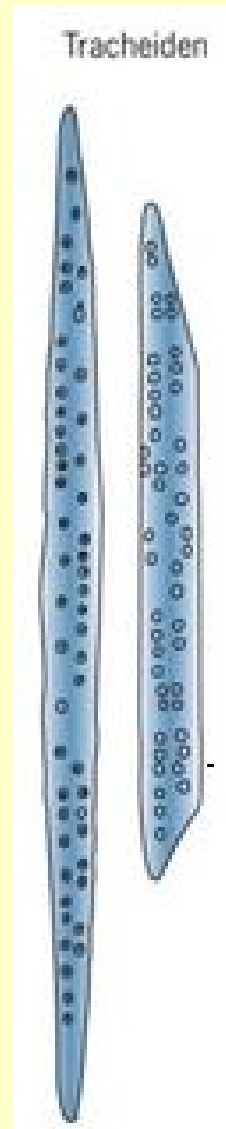
**Tracheidi e articoli dei vasi** decorrono longitudinalmente

*Le gimnosperme (conifere)*

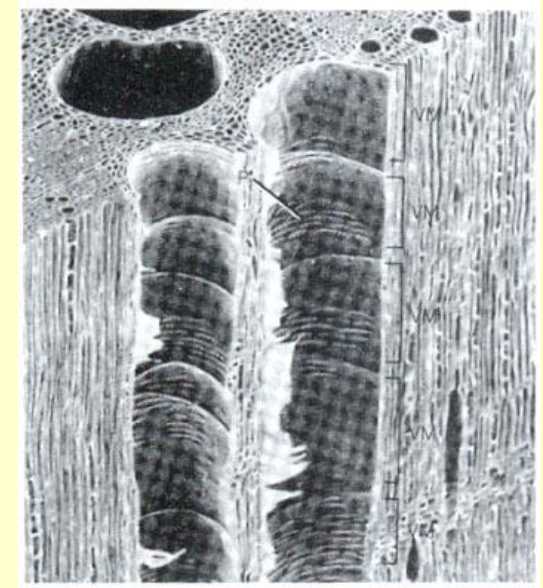
*hanno solo tracheidi*

*Nelle angiosperme (piante a fiore) si trovano tracheidi e trachee*

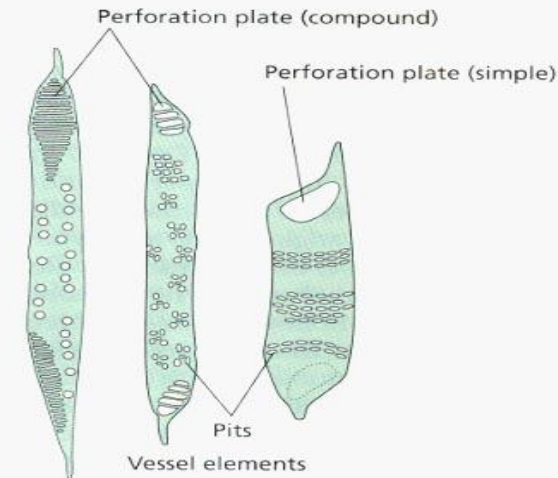
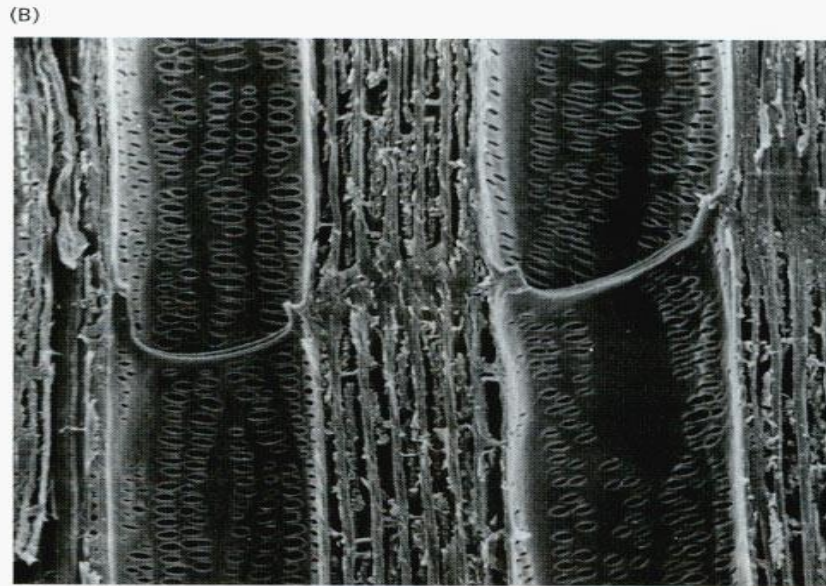
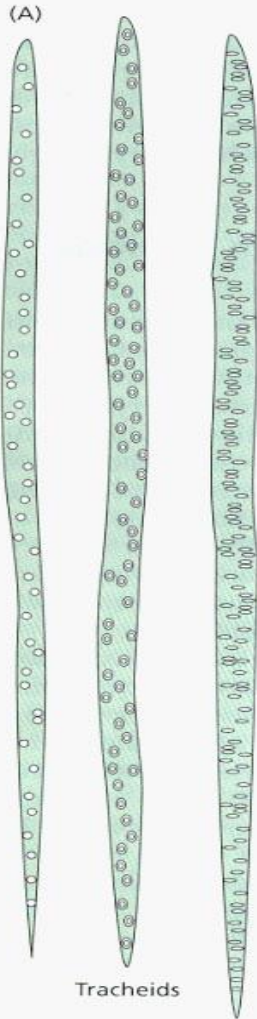
anche  
nel floema



# XILEMA : struttura specializzata per il trasporto dell'H<sub>2</sub>O con la massima efficienza



← Sovrapposizione a formare un vaso



tracheidi

**Trachee o articoli dei vasi**  
a differenza delle Tracheidi sono impaccate uno su l'altro

## Nelle *tracheidi e trachee*

i protoplasti muoiono e sono assorbiti da altre cellule

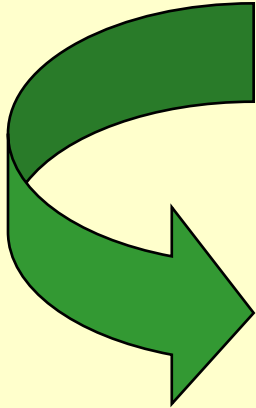
*prima della morte : modificazioni importanti ai fini del flusso dell'acqua*

1. Formazione di una *parete secondaria fortemente lignificata* :

notevole robustezza per impedire lo schiacciamento per effetto delle tensioni;

*Le pareti lignificate non sono permeabili all'acqua*

2. Presenza di *punteggiature*: sottili fori rotondi in cui è presente solo la parete primaria



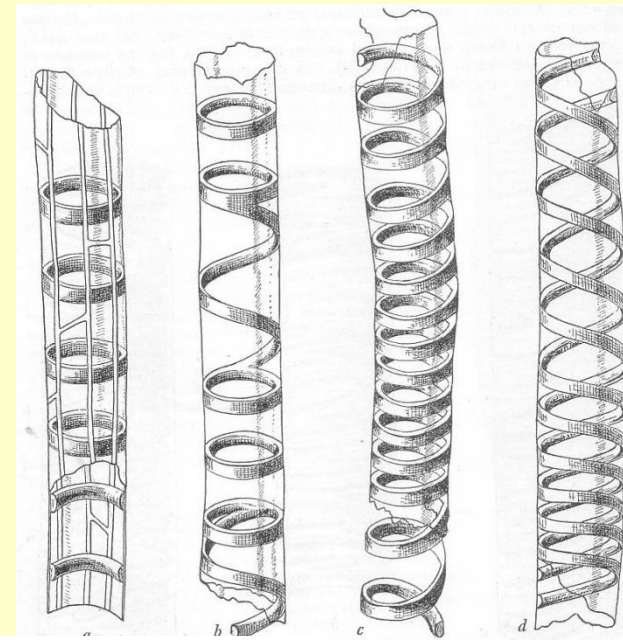
**Le tracheidi** hanno estremità affusolate e la presenza di punteggiature consente la salita verticale dell'acqua.

*Le trachee conducono l'acqua più velocemente delle tracheidi :  
mancanza di vere pareti trasversali e maggiore diametro*

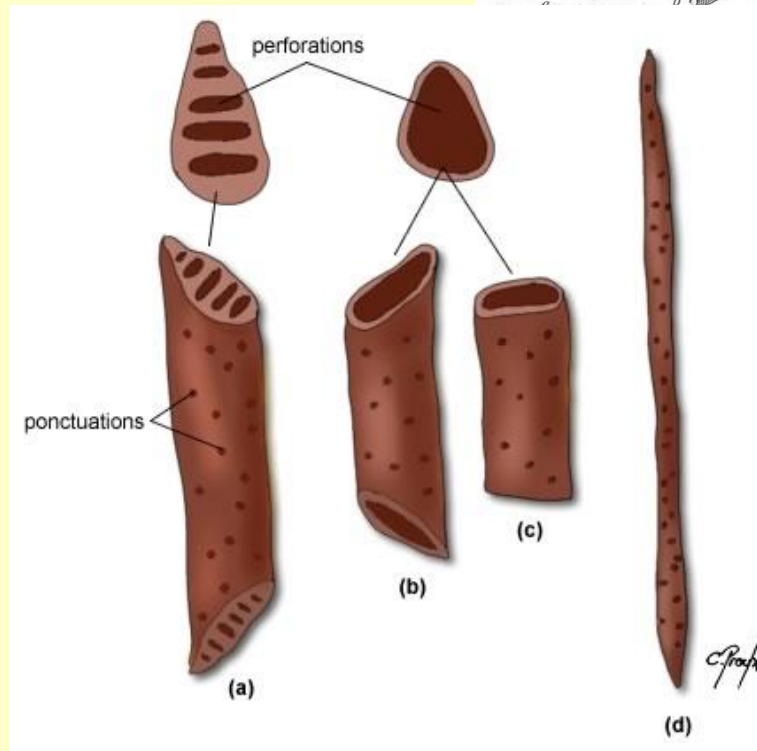
Gli **articoli dei vasi o trachee** sono rinforzati da anelli, spirali o altri tipi di ispessimenti.

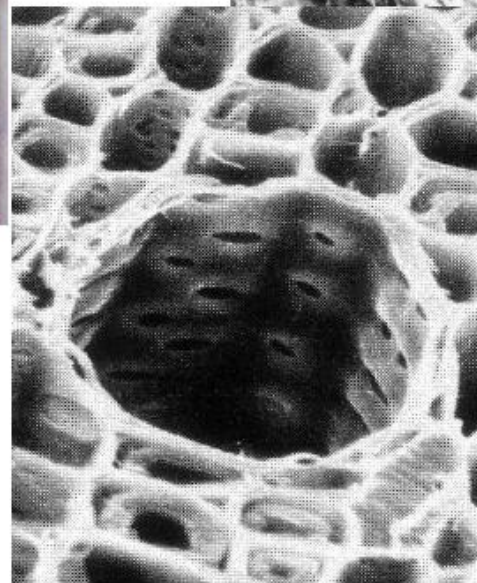
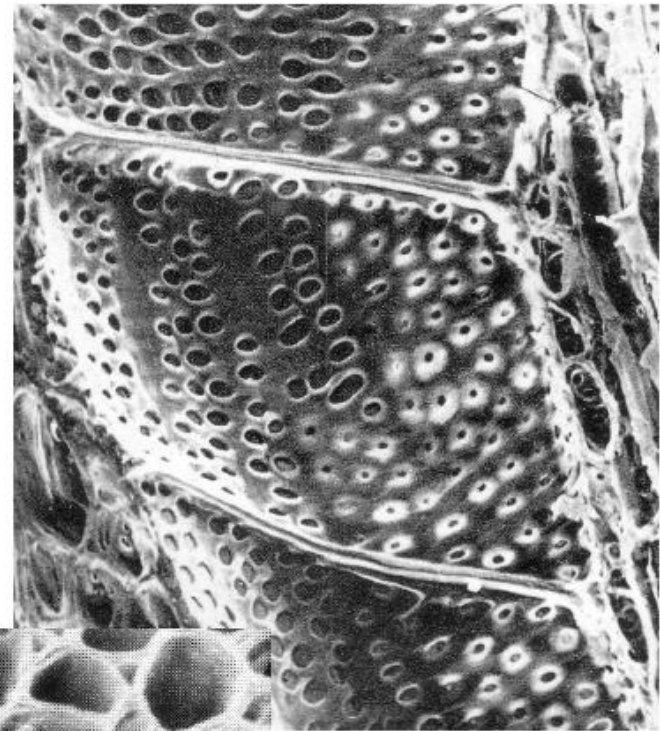
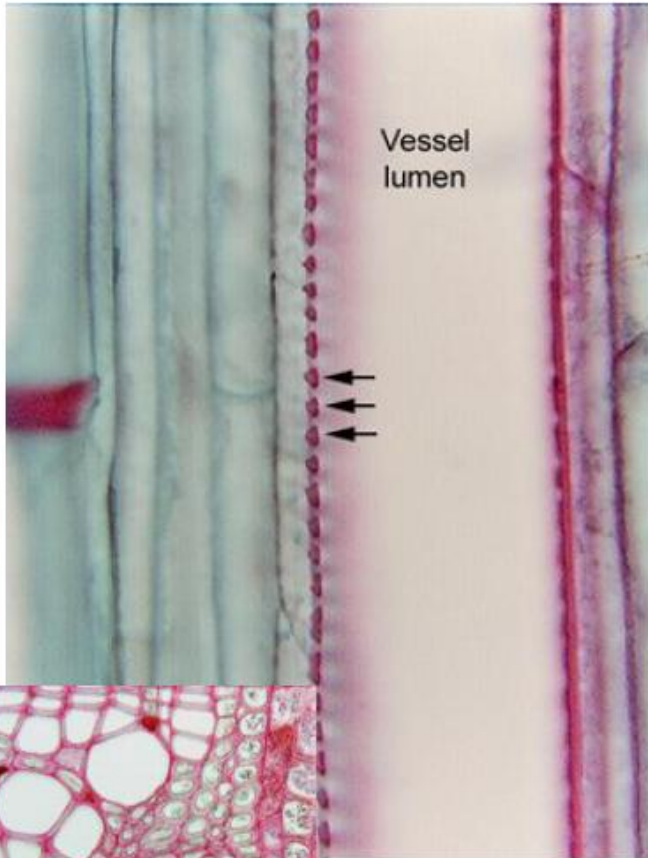
Le pareti trasversali presentano delle **perforazioni semplici o multiple** → rapido passaggio dell'acqua

La velocità del flusso è maggiore rispetto alle tracheidi



...ralato; c, vaso spiraleto; d, vaso doppiamente spi-  
(da BONNIER).

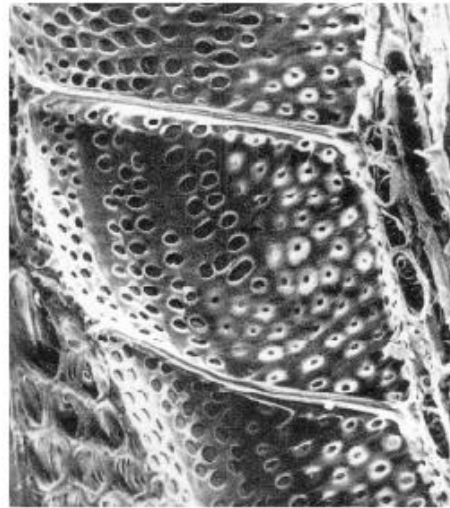
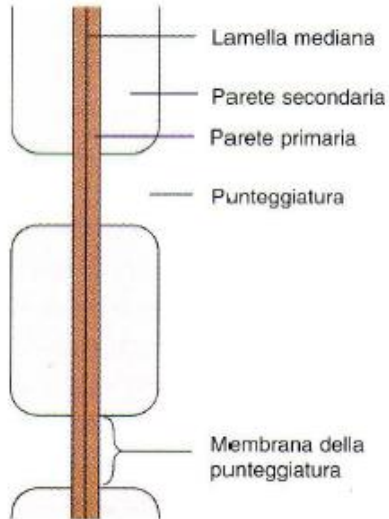




l'acqua può spostarsi da un vaso a quello adiacente attraverso particolari aperture dette **punteggiature**

## Punteggiatura semplice

in alcune zone manca la parete secondaria

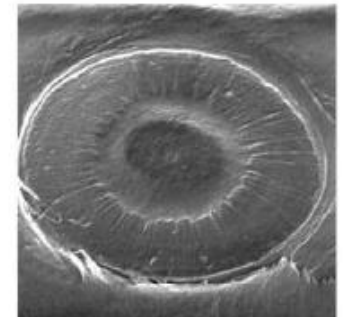
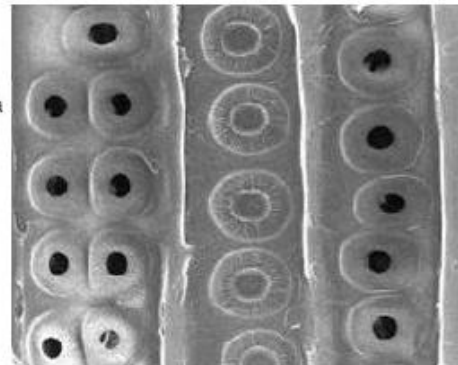
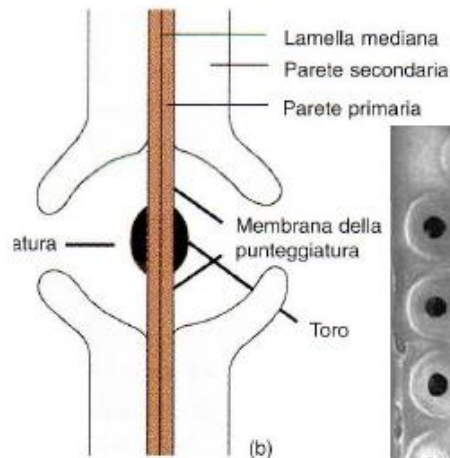


**Le punteggiature funzionano come valvole: lasciano passare liberamente l'acqua ma bloccano il passaggio delle bolle d'aria**

## Punteggiatura areolata

Al centro dell'areola è presente un ispessimento chiamato

**toro**



*• Il trasporto di acqua dalle radici alle foglie deve bilanciare le perdite per traspirazione*

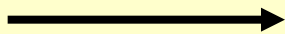
• Le strutture xilematiche consentono velocità di flusso molto elevate, ma notevolmente variabili da pianta a pianta

**Tab. 17.I – Velocità di trasporto dell'acqua in diversi tipi di piante**

	<b>Velocità (m.h<sup>-1</sup>)</b>
Conifere	1,2
Essenze mediterranee sempreverdi	0,4-1,5
Latifoglie a trachee strette (acero, pioppo)	1-6
→ Latifoglie a trachee larghe (olmo, frassino)	4-44
Piante erbacee	10-60
Liane	150

• Le specie con resistenza al flusso più bassa:

latifoglie a trachee larghe



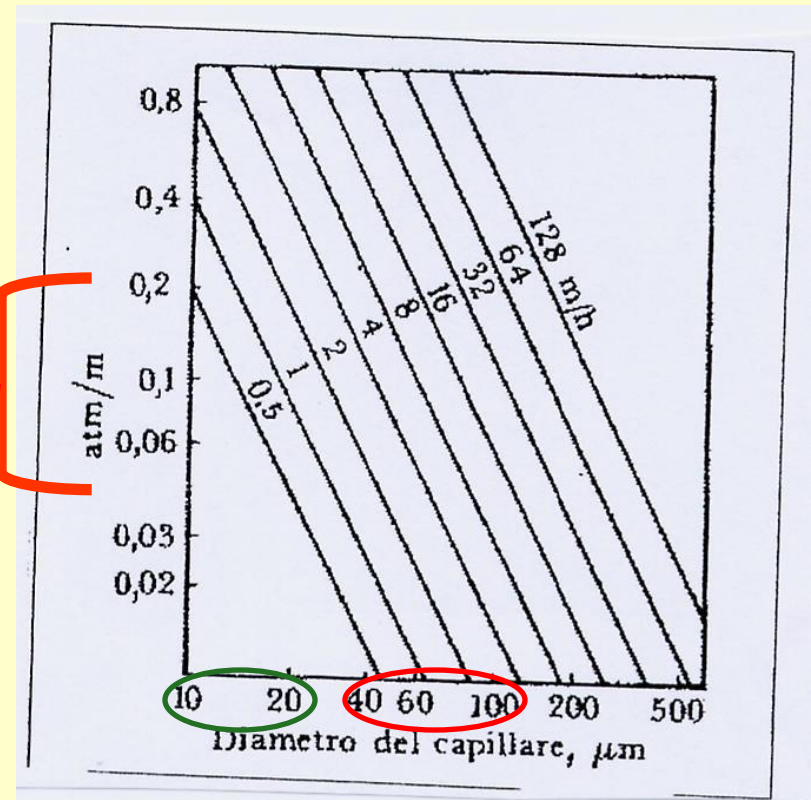
velocità di trasporto più elevate

## Relazione che intercorre fra: Gradiente di potenziale idrico e velocità di trasporto

Il diametro delle **tracheidi** = 10 – 25  $\mu\text{m}$

Il diametro delle **trachee** = 40-80  $\mu\text{m}$   
anche 500  $\mu\text{m}$

Per la maggior parte degli alberi  
sono richiesti gradienti di potenziale idrico  
nell'intervallo:  **$0,05 < \Psi_t < 0,2 \text{ atm/m}$**



	% dei valori teorici
Liane	100
Quercia (radici)	53-84
Abete	26-43
Betulla (radici)	34,8
Pioppo (fusto)	21,7
Piante erbacee e arbustive	12-22

Le trachee non si  
comportano come  
capillari ideali



## CARICAMENTO DELLO XILEMA

*I vasi xilematici sono spazio apoplastico per mancanza di citoplasma:*

Passaggio simplasto  $\longrightarrow$  apoplasto (xilema)

- *È un trasporto mediato da carrier*

- *E' un trasporto attivo :*

Esistenza di una **pompa protonica** sulla membrana delle cellule parenchimatiche:



**ioni  $H^+$  vengono pompati nello xilema**


acidificazione del pH xilematico (5.2-6.0)



Gli  $H^+$  escono agendo da contro-ioni per il trasporto di **cationi**

**rilascio di ioni  $K^+$  e  $Ca^{2+}$**

dalle cellule del parenchima al vaso xilematico

Gli **anioni** entrano per gradiente elettrico:  **Lo xilema è carico +**

- Il rilascio di ioni nello xilema è condizionato da:

*Disponibilità di  $O_2$  e di Carboidrati nelle radici*

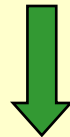
# Il sistema di caricamento dello xilema è regolato indipendentemente dall'assorbimento radicale.

Il rilascio di ioni nello xilema provoca:

Aumento  $\Psi_{\text{osmotico}}$   $\longrightarrow$  Diminuzione  $\Psi$  della pianta

Richiamo di  $\text{H}_2\text{O}$  dall'esterno  $\longrightarrow$  Aumento della pressione idrostatica  $\Psi_p$

*pressione radicale*  
(pressione positiva)



**Spinta di  $\text{H}_2\text{O}$  e soluti verso l'alto**

La pressione radicale diminuisce salendo verso l'alto

**Il processo determinante è la**

*depressione esercitata dalle foglie*

*in seguito alla traspirazione (Suzione = Tensione)*



A seguito della  
pressione nello  
xilema si osserva  
**guttazione** dalle  
foglie .

eccessiva umidità atmosferica      —————>      traspirazione bassa

*acqua assorbita > acqua traspirata dalle foglie*

*La forza motrice è il gradiente decrescente  
di  $\Psi$  dal suolo all'atmosfera*

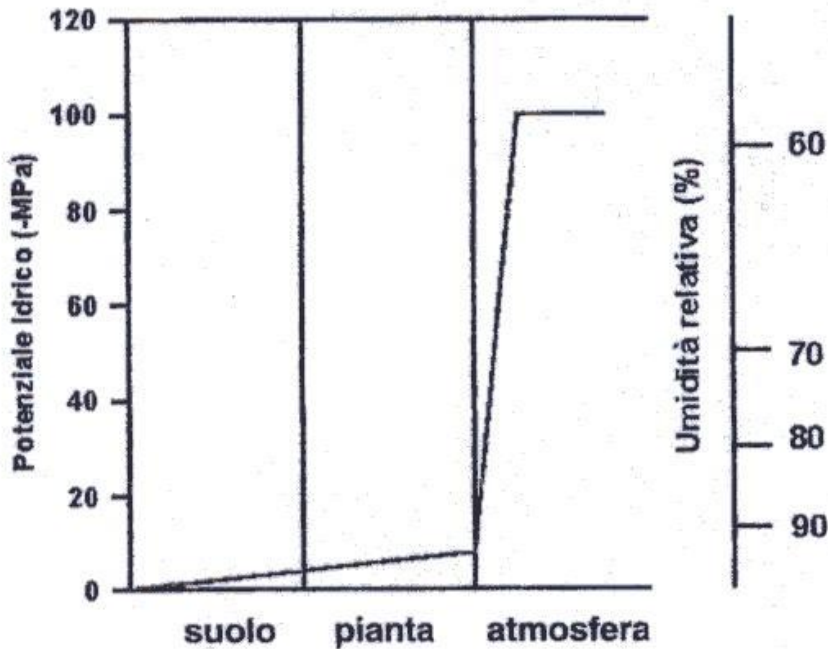
*0,1 MPa = 1 Bar*

**Il potenziale idrico dell'acqua  
nell'atmosfera** si calcola sulla base  
della relazione che considera

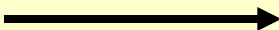
*T= temperatura e*

*UR= umidità relativa*

$$\Psi = -10,7 \times T \times \log 100/UR$$

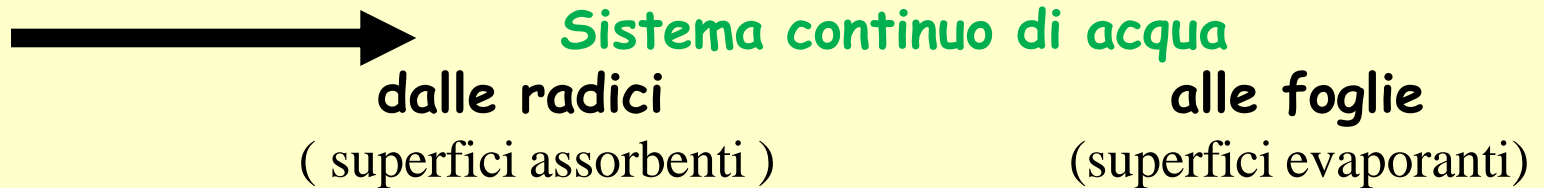


# TEORIA DELLA COESIONE - TENSIONE

- La **coesione** è dovuta ai legami fra le molecole di  $H_2O$  lungo la via di scorrimento  grande forza di **tensione** che si trasmette verso il basso, fino alle radici e al terreno.

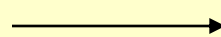
- Esistenza di **forze di adesione** :  
attrazione fra molecole di  $H_2O$  e pareti cellulari

**Le forze di coesione** legano le molecole di  $H_2O$



- La **interruzione della catena** di molecole di  $H_2O$

Formazione di bolle di aria



**Cavitazione**



Blocco della Traspirazione

## La traspirazione consiste:

- nell'evaporazione dell'acqua a livello delle superfici acqua-aria dei tessuti vegetali
- nel movimento delle molecole di vapore acqueo dagli spazi intercellulari all'esterno

Nelle **foglie**

1) l'acqua evapora dalle pareti cellulari del **parenchima a palizzata** e del **Parenchima lacunoso** che insieme formano il

**Mesofillo**

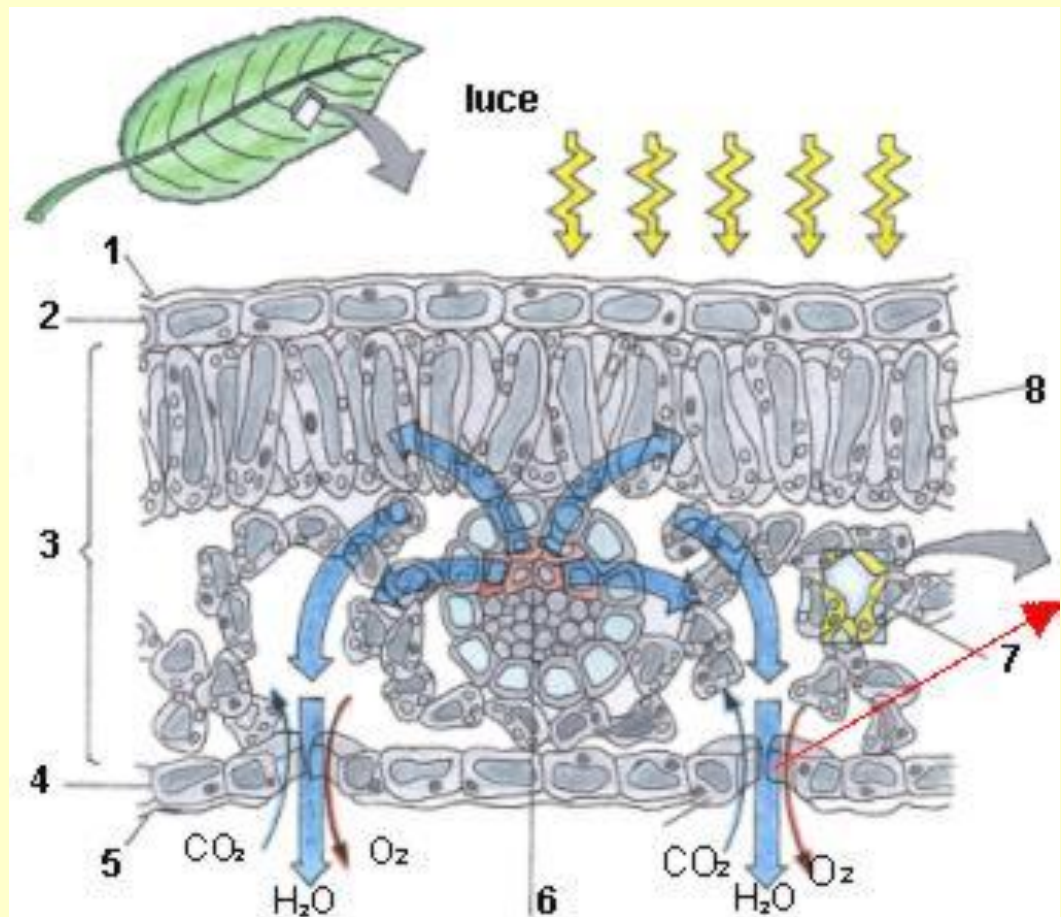
- passaggio negli **spazi intercellulari**
- in comunicazione con l'esterno attraverso gli

**stomi** = aperture regolabili

2) La + parte del vapore acqueo e dei gas passa attraverso

l'apertura (rima stomatica) compresa fra le **cellule di guardia**

3) La cuticola cerosa presente sull'epidermide delle foglie limita la diffusione



Gli stomi si aprono perché le cellule di guardia assorbono acqua e si rigonfiano

Un flusso di ioni  $K^+$  dalle cellule ausiliare alle cellule di guardia

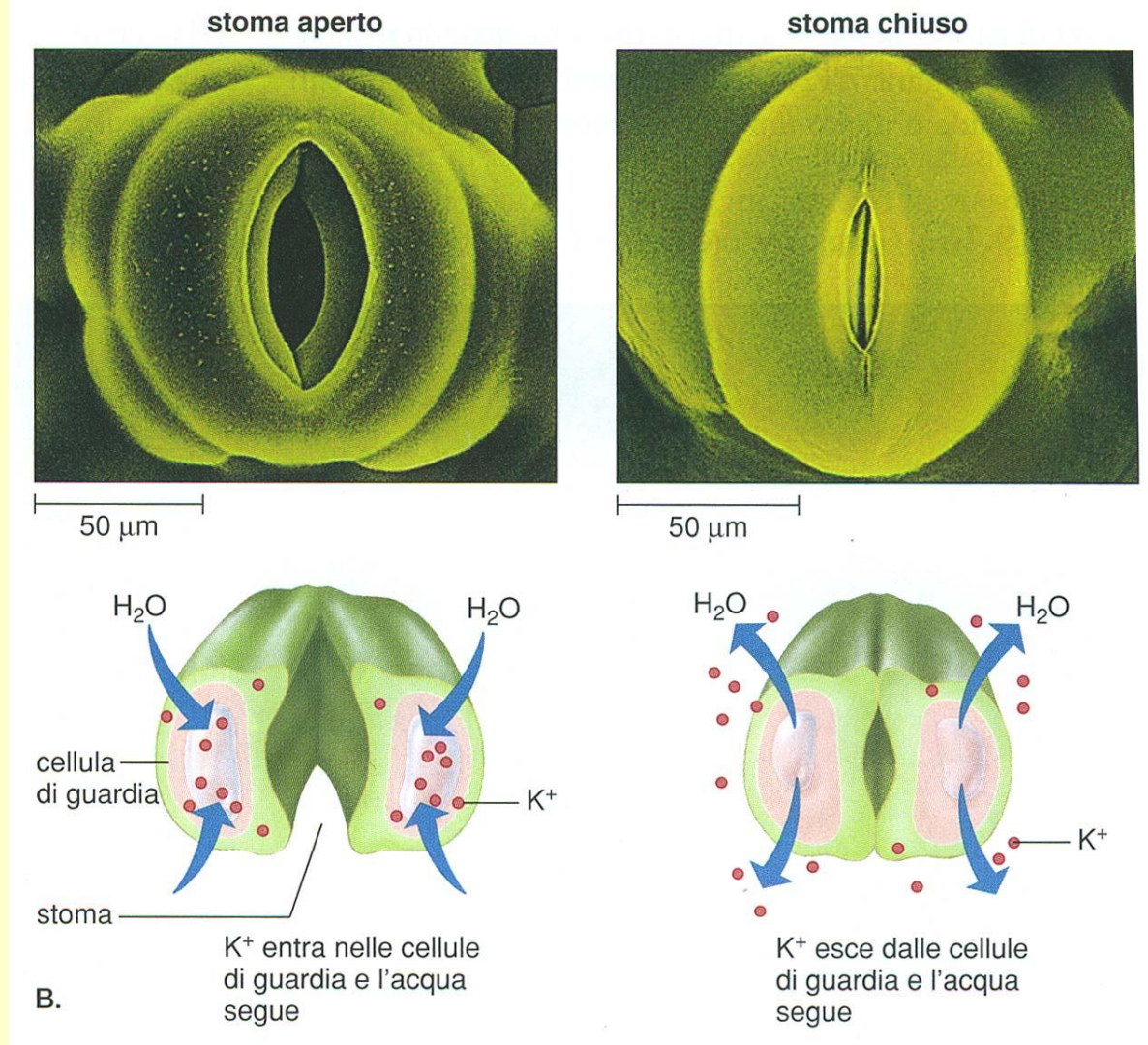
determina:

- Aumento del potenziale osmotico e abbassamento del potenziale idrico
- Richiamo di acqua dalle cellule ausiliarie



- Le microfibrille di cellulosa impediscono aumento in diametro
- Allungamento lungo le pareti esterne
- Le cellule di guardia si rigonfiano verso l'esterno

**Apertura dello stoma**





Aumenta la  
concentrazione di  
soluti



aumento della  $\pi$

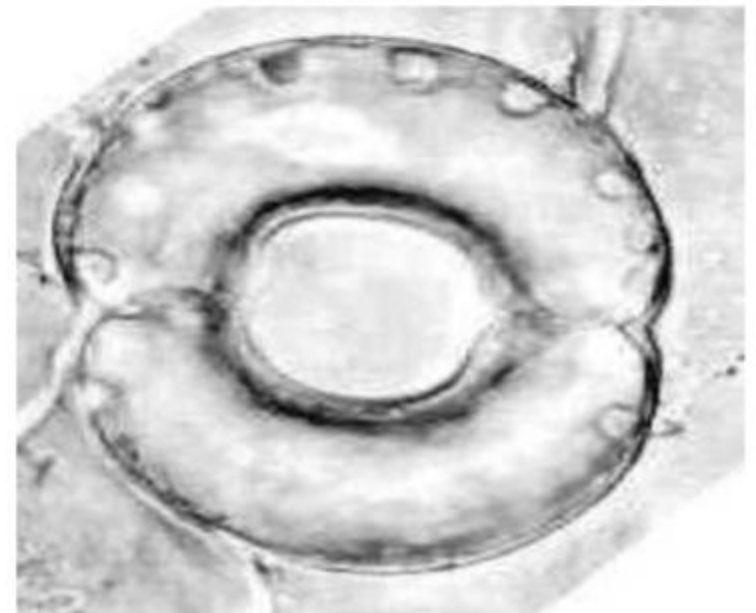
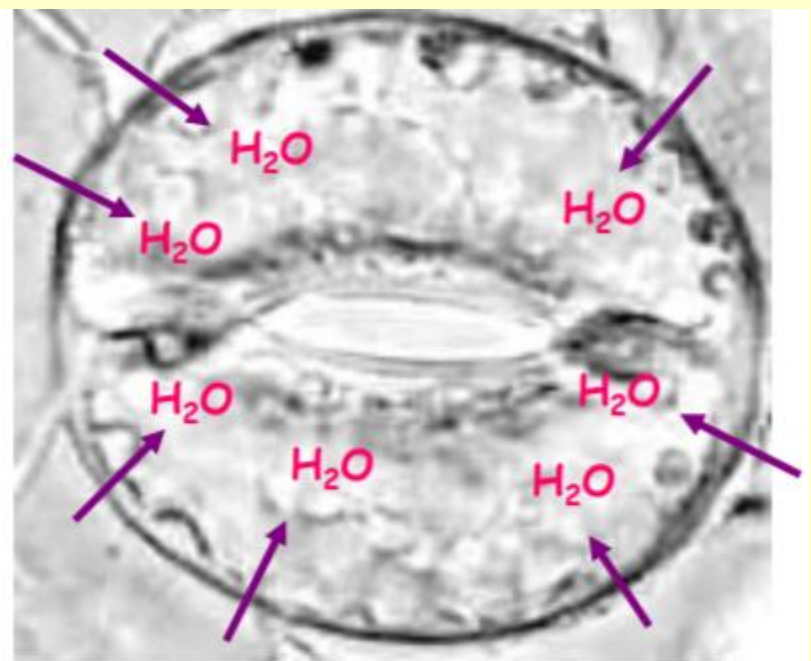


diminuzione di  $\psi$



Entra l'acqua

AUMENTO DELLA  
PRESSIONE DI TURGORE



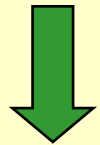
# Evaporazione dell' $H_2O$ nel mesofillo fogliare

*Nelle cellule vicine agli elementi conduttori della foglia*

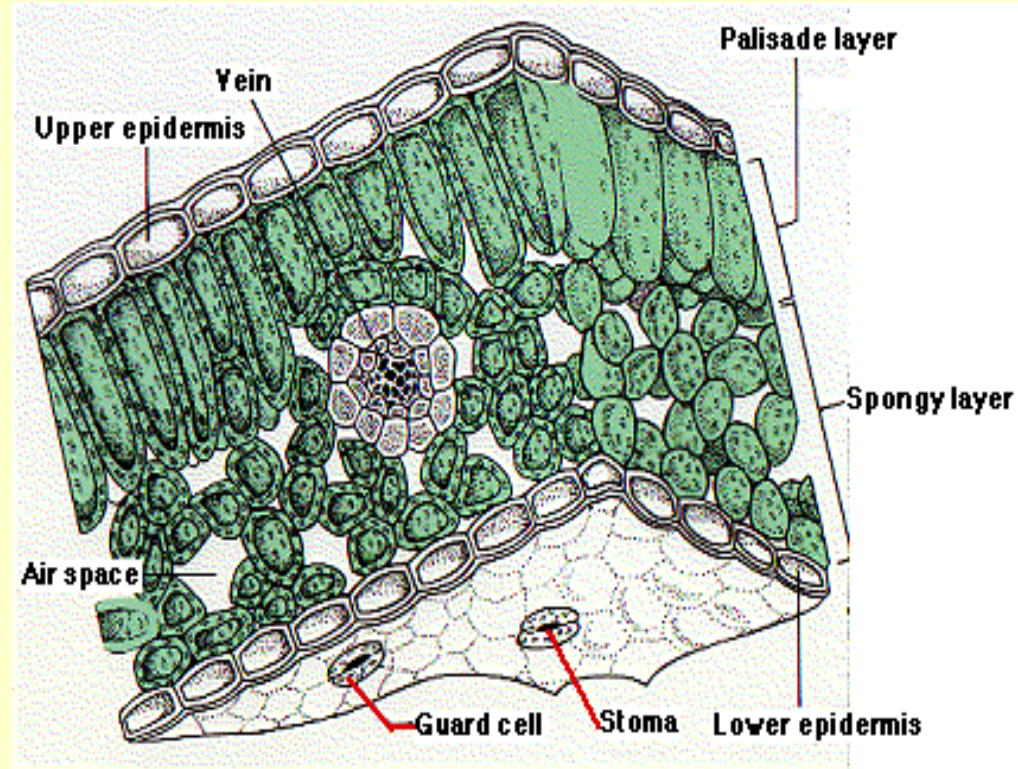
$H_2O$ , evaporata negli spazi aeriferi, esce dalla foglia per **diffusione**



*Deficit idrico*

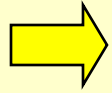


*Richiamo di  $H_2O$  dai vasi conduttori*

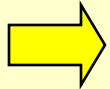


la forza motrice per la perdita di  $H_2O$  è il **GRADIENTE DI CONCENTRAZIONE del vapor d'acqua** tra gli spazi aeriferi e l'aria

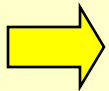
# Trasporto Floematico



Il floema è il tessuto in grado di traslocare i **prodotti della fotosintesi** da foglie adulte ad aree di accrescimento e di accumulo

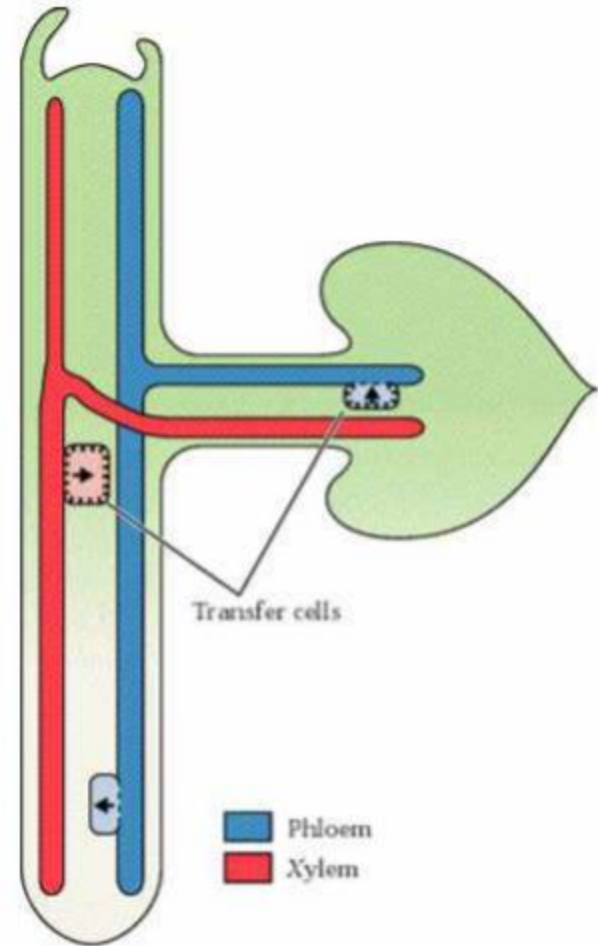
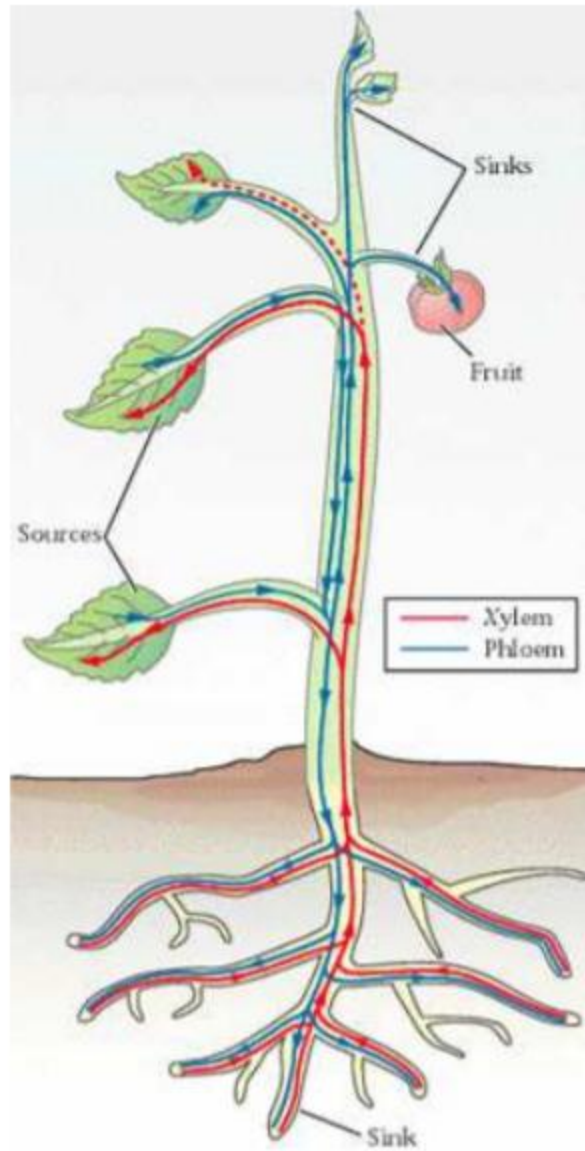


Ridistribuisce **l'acqua ed altri composti** pervenuti per via xilematica agli organi non soggetti a traspirazione (frutti, semi, tessuti meristemati)

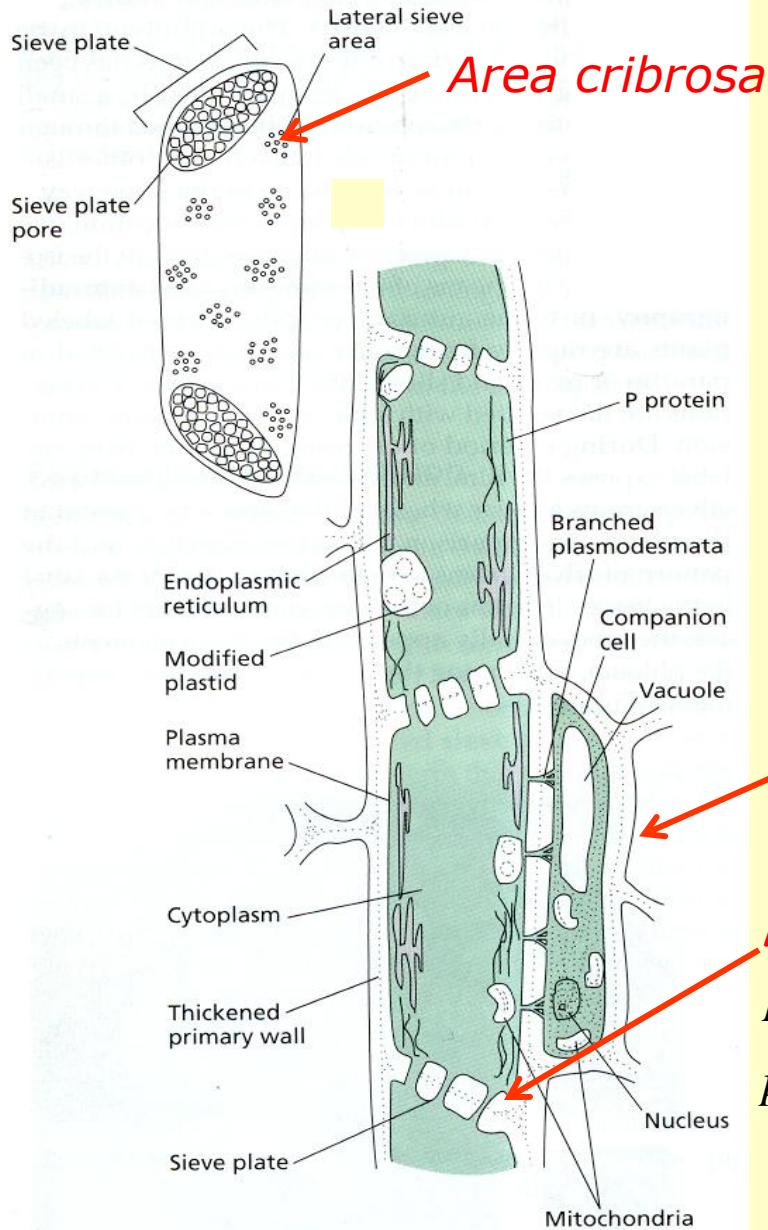


Movimento BIDIREZIONALE

# Lo xilema ed il floema hanno numerosi punti di contatto



# Cellula Cribrosa



## Elementi del Cribro



Cellule cribrose (gimnosperme)

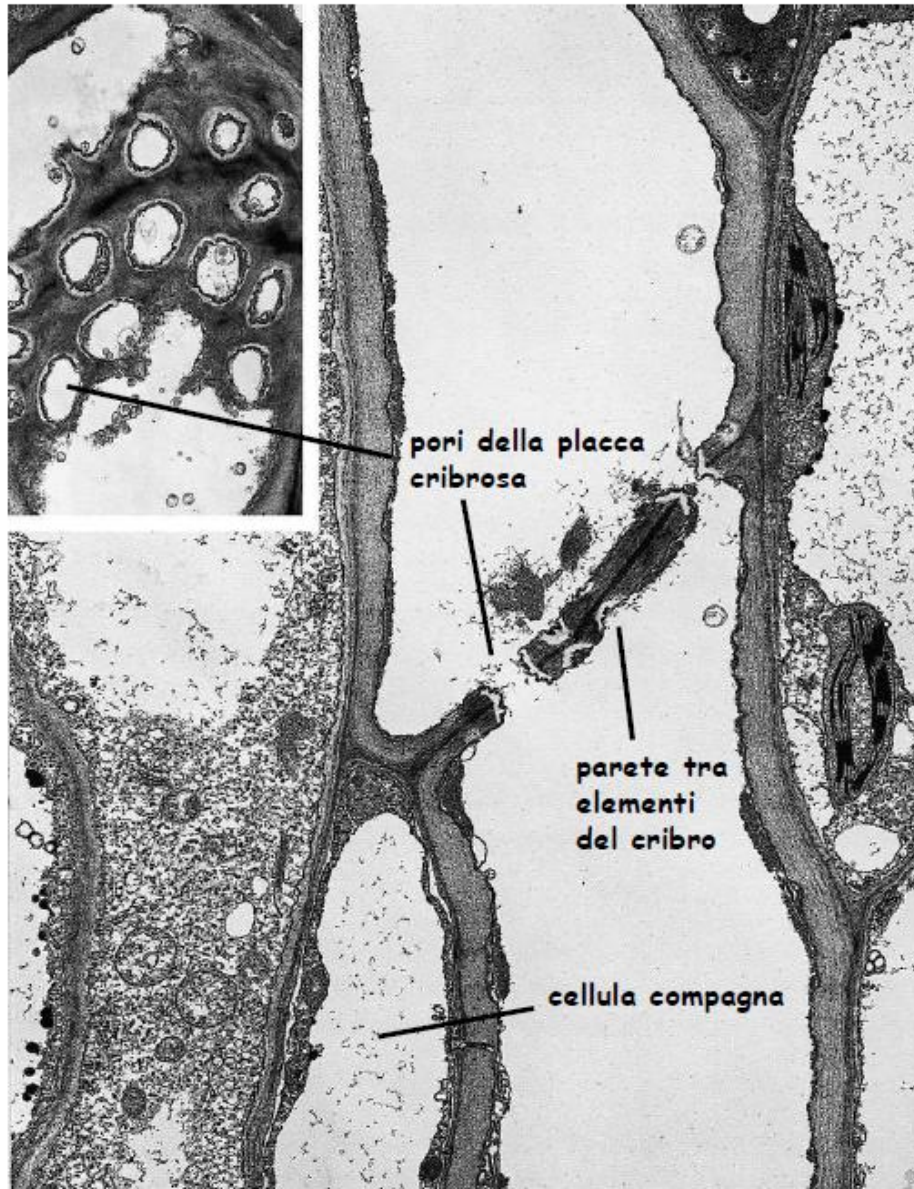
Elementi dei tubi cribrosi (angiosperme)

Ogni elemento del cribro è associato a 1 o più

**cellule compagne**

**Placche cribrose:**

*I pori delle placche cribrose sono canali aperti e permettono il trasporto fra tubi cribrosi*



Sezione longitudinale di  
due elementi dei tubi  
cribrosi di *Cucurbita  
maxima* (zucca) connessi  
da una placca cribrosa


**Gli elementi del cribro** sono caratterizzati da

- **aree cribrose:**

Porzioni della parete cellulare dove pori (diametro 1-15  $\mu\text{m}$ ) mettono in comunicazione le cellule conduttrici.

- **Placche cribrose** posseggono dei pori più grandi e sono situate sulle pareti terminali degli elementi cribrosi

Le cellule si uniscono a formare una serie longitudinale

 **Tubi cribrosi**

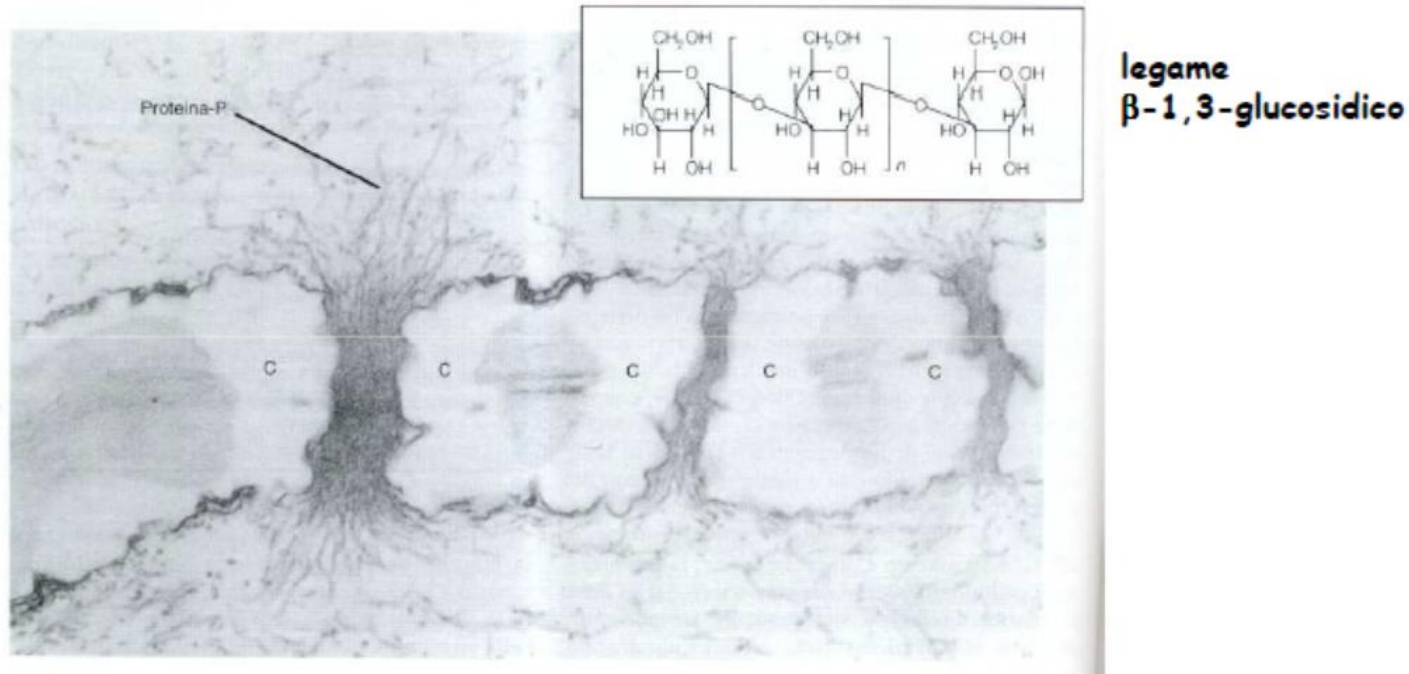
Gli elementi dei tubi cribrosi mancano di nucleo, tonoplasto, microfilamenti, microtubuli, Golgi e ribosomi

- Contengono **Proteina P** (*Phloem protein*): si trova in tutte le dicotiledoni e in molte monocotiledoni (PP1 e PP2)

Funzione: ostruisce i pori per evitare la perdita di succo floematico quando viene provocato un taglio o una ferita

## Risposta al danneggiamento meccanico:

- **Proteine P**
- **Sintesi di callosio**



Il **callosio** è un polimero del beta-glucosio.

- Forma "manicotti" attorno ai canali della placca cribrosa nei periodi di letargo invernale impedendo il flusso di linfa lungo il tessuto conduttore.

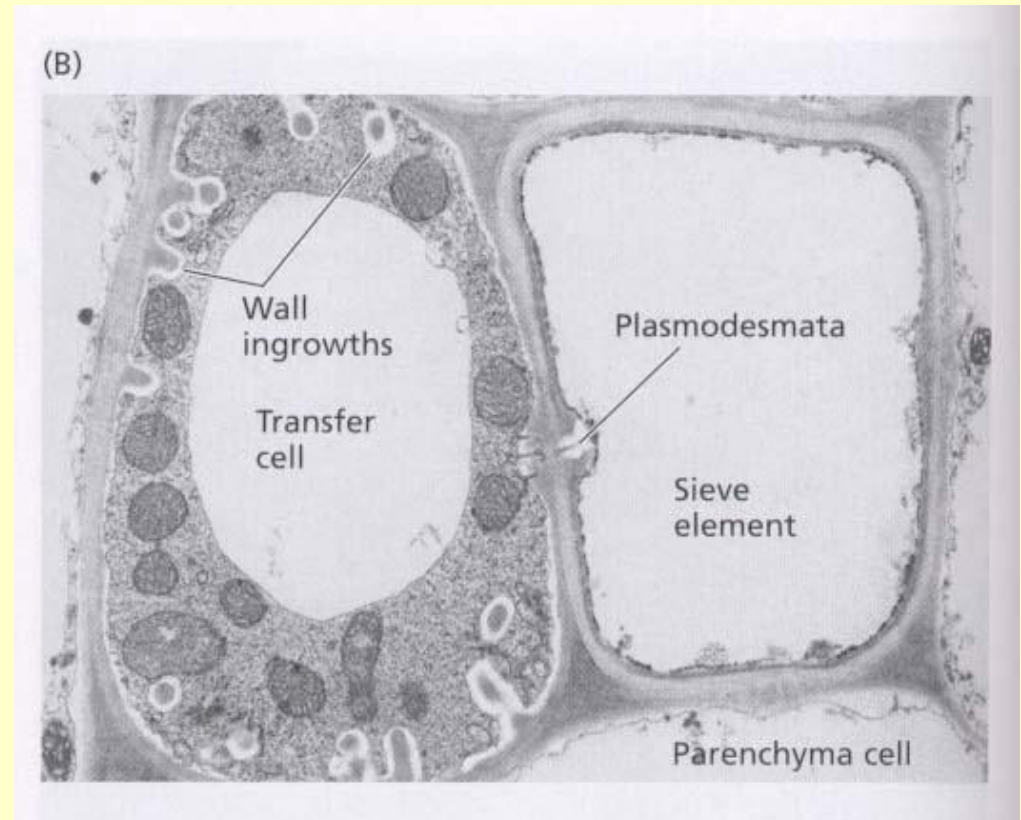
Al momento del risveglio vegetativo, il callosio viene parzialmente idrolizzato per liberare nuovamente i canali vascolari

- ruolo nella riparazione dei danni conseguiti dalla parete cellulare dei tubi cribrosi insieme alla proteina mucillaginosa "proteina p" (dall'inglese *phloem protein*)



Gli elementi dei tubi cribrosi sono connessi mediante plasmodesmi con una o più Cellule Compagne

- Derivano dalla stessa cellula madre dell'elemento cribroso
- Sono ricche di mitocondri
- Sono sorgente di ATP e di altri composti
- Trasporto di prodotti fotosintetici dalle cellule produttrici agli elementi del floema

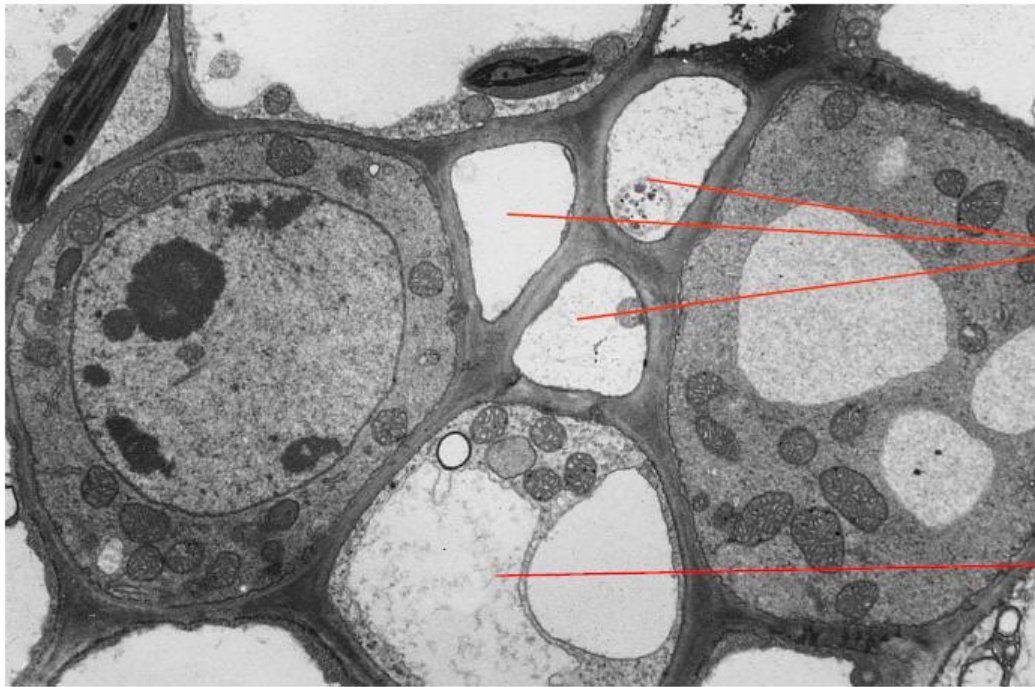


Esistono tre tipi di Cellule Compagne:

**Cellule compagne Ordinarie**

**Cellule Intermedie**

**Cellule Transfer**



elementi del  
cribro

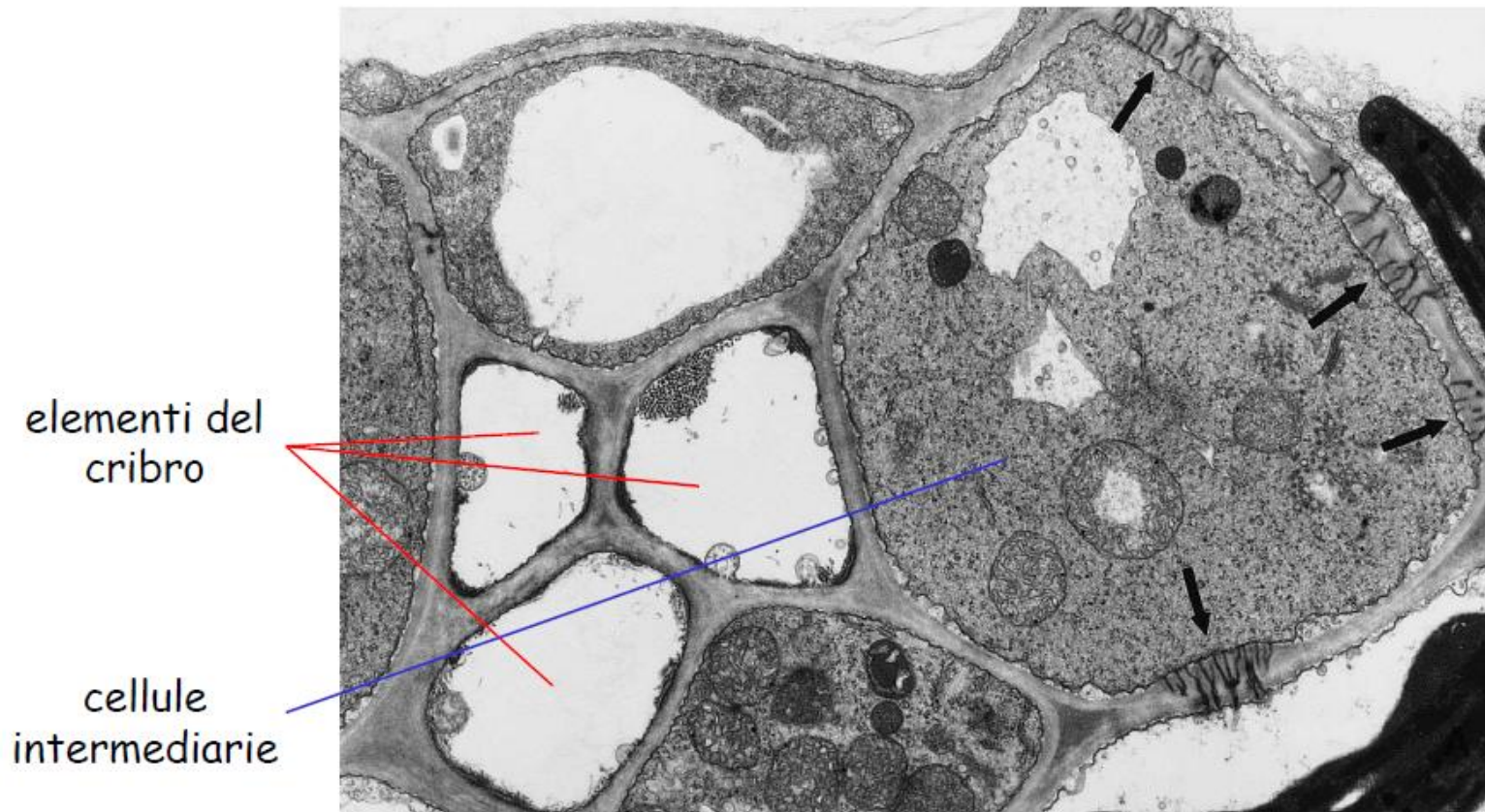
cellula compagna  
ordinaria

### **Cellule Compagne Ordinarie:**

Cloroplasti ben sviluppati

Parete cellulare con superficie interna liscia

Plasmodesmi prevalentemente con gli elementi del cribro

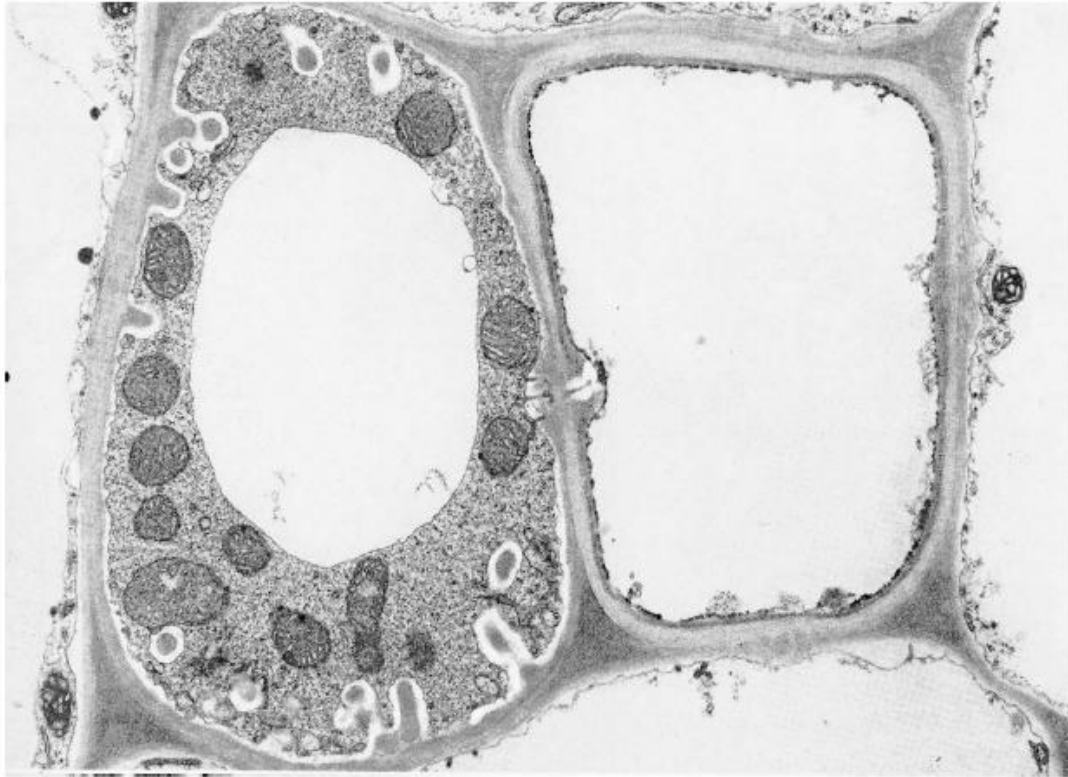


## **Cellule Intermedie:**

**Numerosi plasmodesmi con le cellule circostanti**

**Tilacoidi poco sviluppati**

**Piccoli vacuoli**



## Cellule Transfer:

simili alle ordinarie

La parete cellulare presenta invaginazioni a forma di dito che aumentano l'area superficiale della membrana plasmatica

Connessioni prevalentemente con gli elementi del cribro

Le Cellule Compagne **Ordinarie** e le Cellule **Transfer**, a causa della scarsità di connessioni citoplasmatiche, sembrano specializzate nella assunzione di soluti dall'**apoplasto**

Le Cellule **Intermedie**, per la presenza di numerose connessioni citoplasmatiche, appaiono specializzate per l'assunzione di soluti attraverso i **plasmodesmi**

# Direzione della traslocazione nel Floema

La direzione di traslocazione nel floema non è definita rispetto alla gravità



Avviene da zone di produzione dei fotoassimilati dette SORGENTI (Source)

a zone di consumo metabolico o di immagazzinamento dette POZZI (Sink)

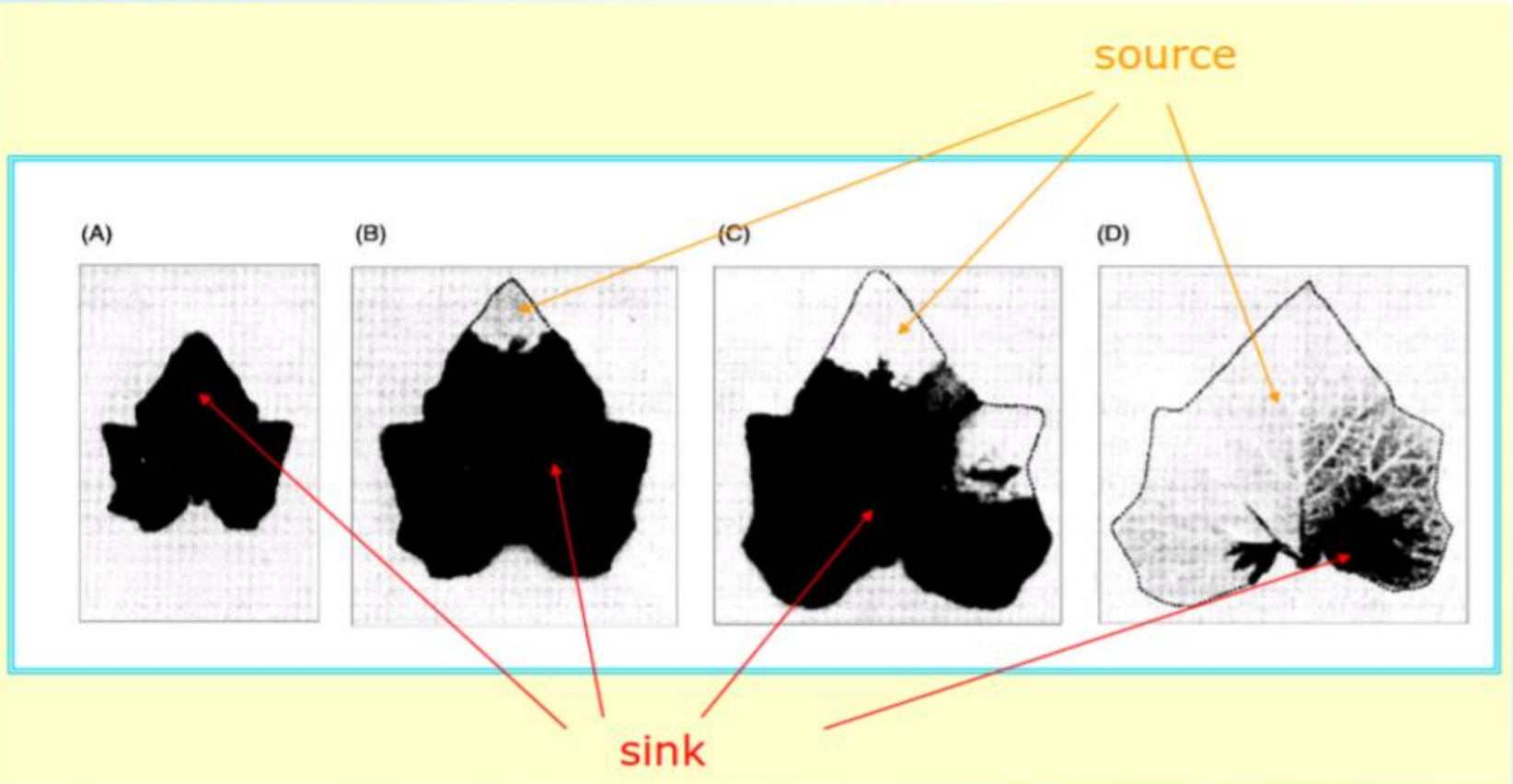
Una foglia adulta è *source* : fotosintetizza più del suo fabbisogno

Una foglia giovane è *sink* : il suo fabbisogno metabolico supera la capacità produttiva

la distinzione  
non è netta

## Transizione da **pozzo** a **sorgente**

Le giovani foglie funzionano da pozzi ma....



....quando una giovane foglia raggiunge il 25% della sua dimensione finale inizia ad esportare saccarosio (funzionando da sorgente) dalla zona apicale mentre la parte basale continua ad importare

*I Sink non sono equamente riforniti da tutte le foglie (source) di una pianta  
ci sono **regole anatomiche e di sviluppo**:*

- **VICINANZA**

Le **foglie mature superiori** di una pianta riforniscono

—————> Foglie giovani e gli apici vegetativi

Le **foglie inferiori** riforniscono —————> il sistema radicale

Le foglie in **posizione intermedia** —————> esportano in entrambe le direzioni

- **SVILUPPO**

*L'importanza dei Sink può variare durante lo sviluppo:*

- Durante l'accrescimento vegetativo:

i **tessuti meristemati** di radici e germogli sono i pozzi principali (sink)

- Durante lo sviluppo riproduttivo

i **frutti** sono i sink dominanti soprattutto dalle foglie + vicine (source)



**Tabella 8.1**

Confronto tra la composizione della linfa xilematica e quella della linfa floematica del lupino bianco (*Lupinus albus*)

	Linfa xilematica mg L <sup>-1</sup>	Linfa floematica mg L <sup>-1</sup>
Saccarosio	ND <sup>a</sup>	154 000
Amminoacidi	700	13 000
Potassio	90	1 540
Sodio	60	120
Magnesio	27	85
Calcio	17	21
Ferro	1,8	9,8
Manganese	0,6	1,4
Zinco	0,4	5,8
Rame	Tr <sup>b</sup>	0,4
Nitrato	10	ND <sup>a</sup>
pH	6,3	7,9

<sup>a</sup> ND = non presente in quantità misurabile.

<sup>b</sup> Tr = presente in tracce.

Riportato da Pate (1975).

La concentrazione dei soluti

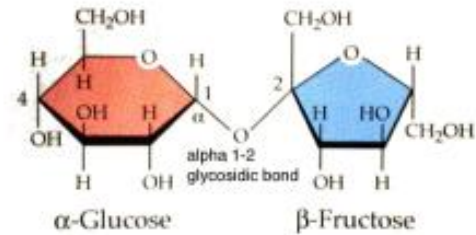
La concentrazione di soluti

**del floema**

**>**

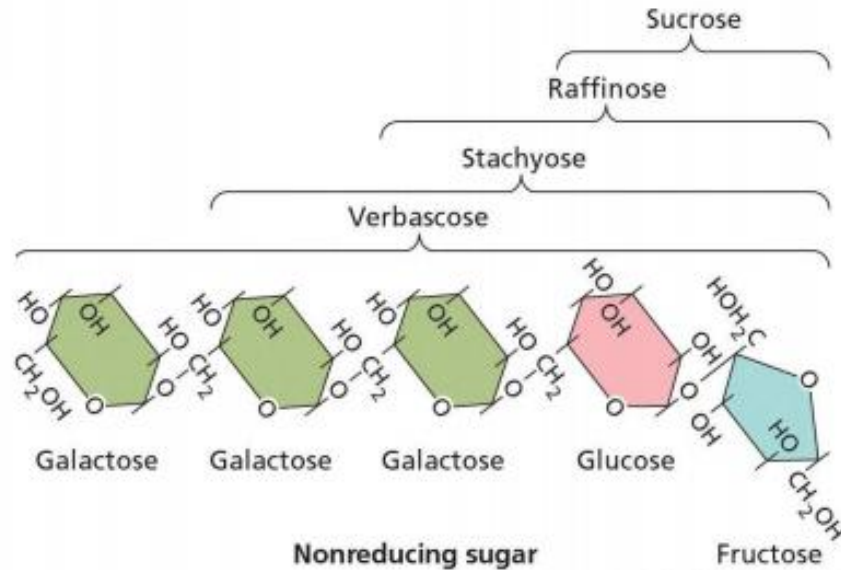
**dello xilema**

# Zuccheri traslocati nel floema



**saccarosio**

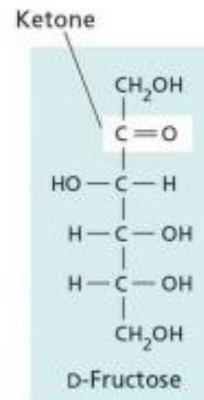
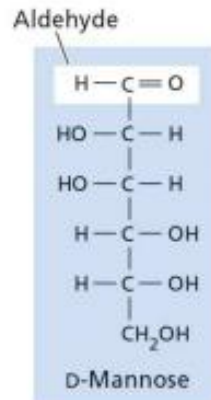
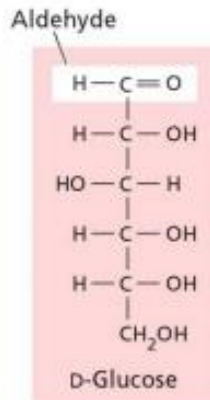
## (B) Compounds commonly translocated in the phloem



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 2) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

## (A) Reducing sugars, which are not generally translocated in the phloem

The reducing groups are aldehyde and ketone groups.

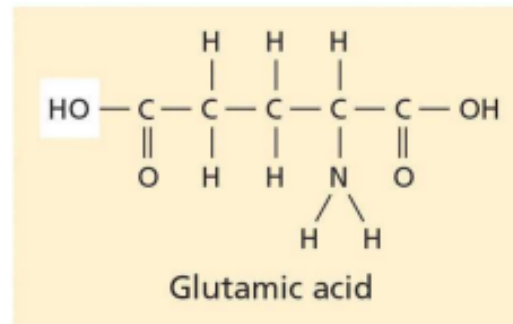


PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 1) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

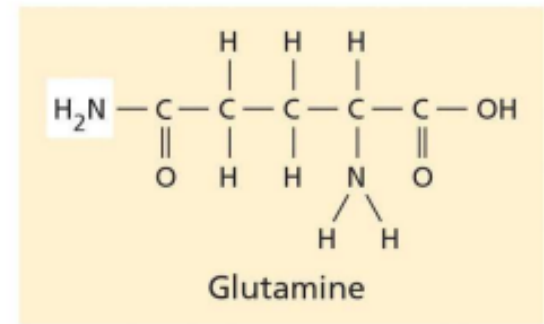
# Zuccheri non traslocati nel floema (zuccheri riducenti)

**Composti contenenti azoto traslocati nel floema (amminoacidi, ammidi, ureidi)**

Glutamic acid and glutamine are important nitrogenous compounds in the phloem, in addition to aspartate and asparagine.



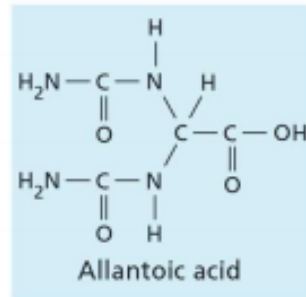
**Amino acid**



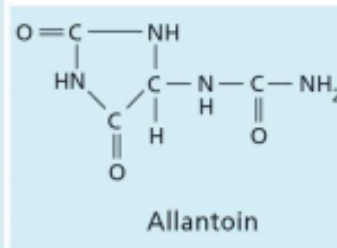
**Amide**

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 3) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

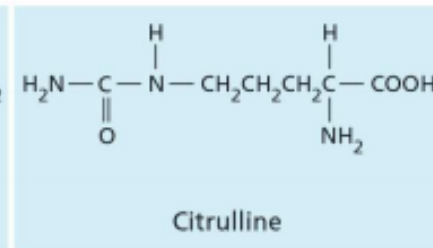
Species with nitrogen-fixing nodules also utilize ureides as transport forms of nitrogen.



Allantoic acid



Allantoin



Citrulline

**Ureides**

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 4) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

# IL TRASPORTO NEL FLOEMA

**Il caricamento del floema:**

*movimento dei prodotti fotosintetici*

*dai cloroplasti del mesofillo agli elementi del cribro*

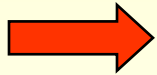


***modello del flusso di pressione***

## 1. Caricamento degli elementi del cribro:

Prima fase di *trasporto a breve distanza* gli zuccheri sono trasportati nelle cellule compagne e negli elementi del cribro

meccanismo di **Trasporto Attivo:**



*nel cribro gli zuccheri sono più concentrati che nelle cellule del mesofillo*

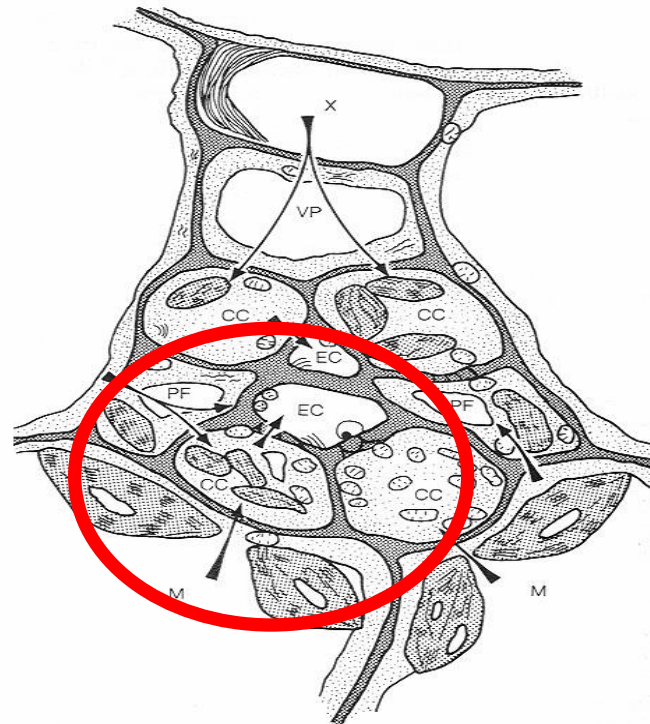
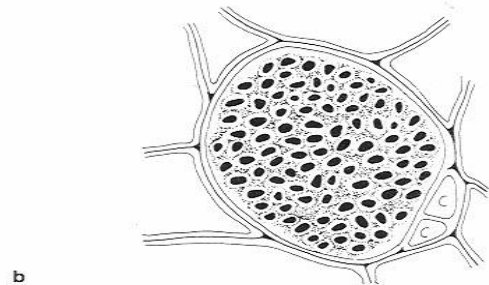
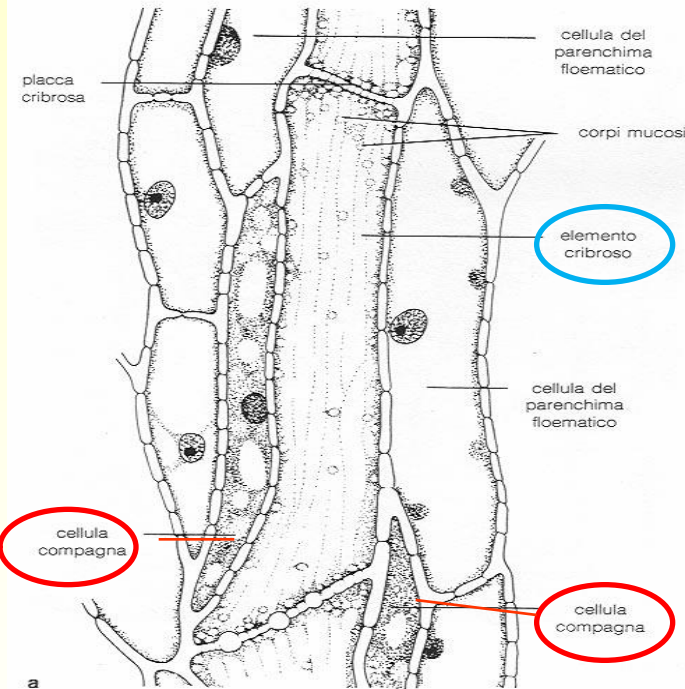
2. Esportazione: il saccarosio e gli altri soluti vengono traslocati lontano dalla sorgente (Source) fino al Sink ( pozzo)



*trasporto a lunga distanza*

## Caricamento del floema:

Cellule del mesofillo → Cellule compagne → Vasi floematici




gli zuccheri  
fotosintetizzati  
nelle cellule del  
mesofillo fogliare  
entrano nel floema  
a livello del complesso  
*cellula compagna*  
*/elemento del cribro,*  
*considerati*  
*come un'unica unità*  
*funzionale.*

I fotosintati per entrare nei vasi cribrosi seguono meccanismi differenti a seconda dei composti:

*Gli acidi organici non richiedono un sistema attivo di caricamento,*  
ma diffondono passivamente attraverso la membrana

- ***Il saccarosio** richiede un trasporto attivo* : è una molecola neutra

 *nel complesso costituito dagli elementi del cribro e dalle cellule compagne è a una concentrazione maggiore*

Trasporto contro gradiente di concentrazione



**Trasporto attivo**

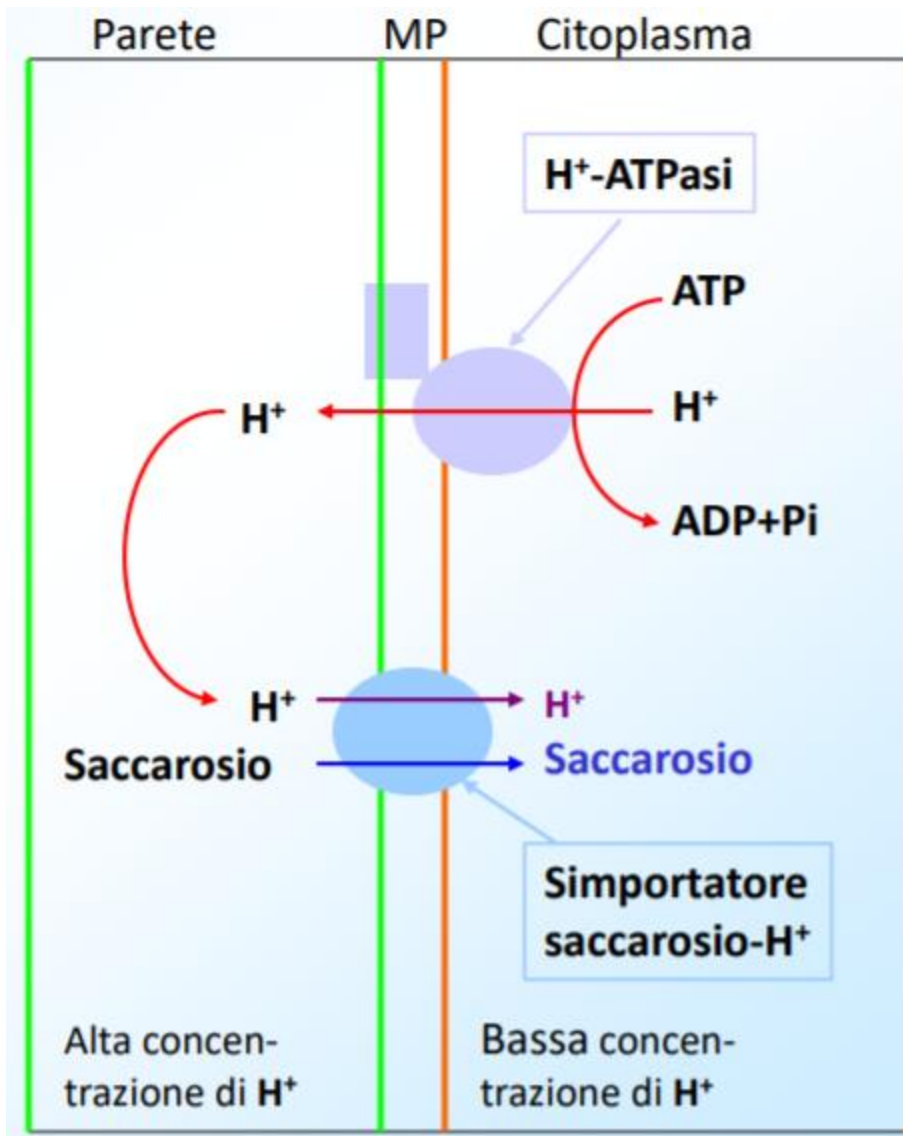
L'idrolisi dell' ATP fornisce energia per una **pompa protonica** che manda



$H^+$  fuori nell'apoplasto (via apoplastica)

$H^+$  rientrano come **cotrasporto saccarosio/  $H^+$**

Nella via apoplastica il caricamento degli elementi del cribro avviene mediante un **simporto saccarosio/protone**





# Caricamento del floema

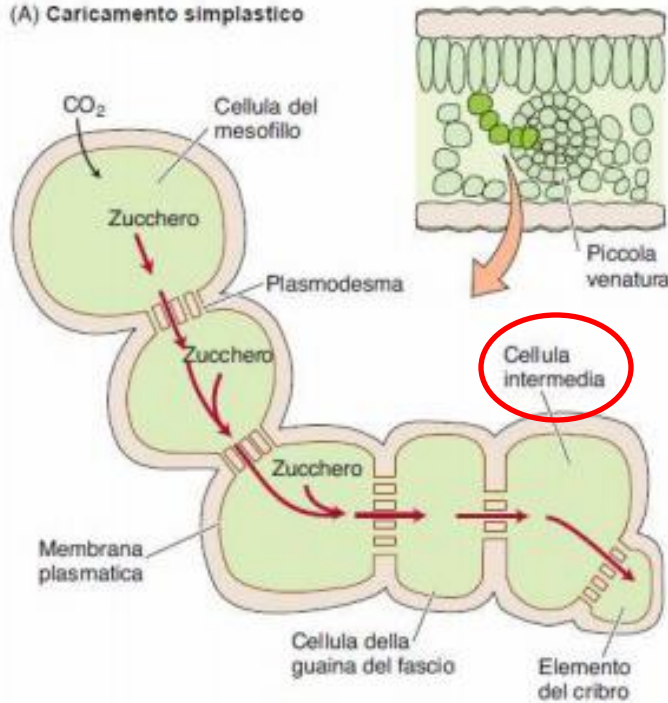


via apoplastica

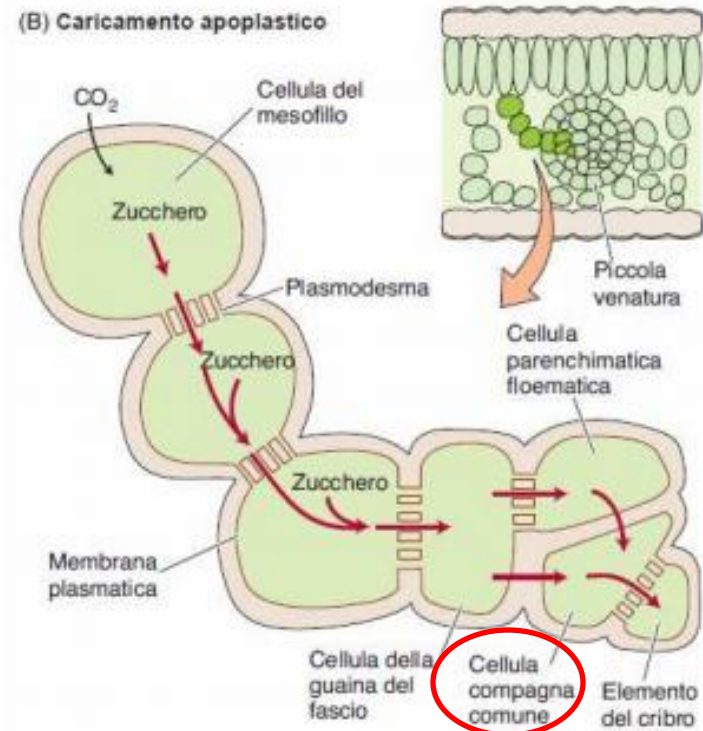


via simplastica

(A) Caricamento simplastico



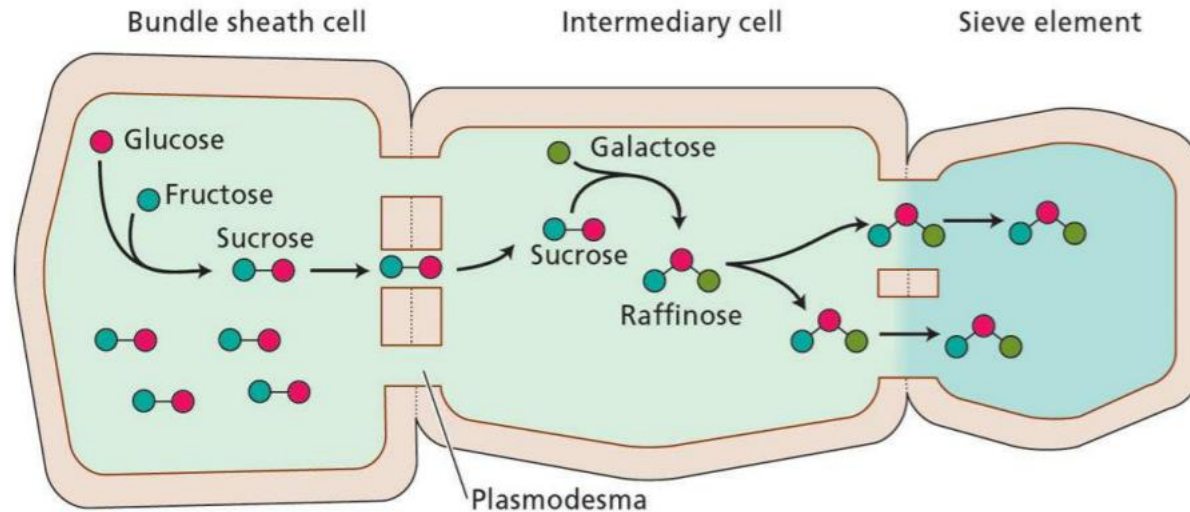
(B) Caricamento apoplastico



Prima fase di trasporto a breve distanza:  
da mesofillo a vasi floematici

# CARICAMENTO SIMPLASTICO

Avviene nelle piante che hanno cellule intermedie



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.17 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

**zuccheri trasportati: raffinoso, stachioso, verbascoso**

## MODELLO A TRAPPOLA PER POLIMERI

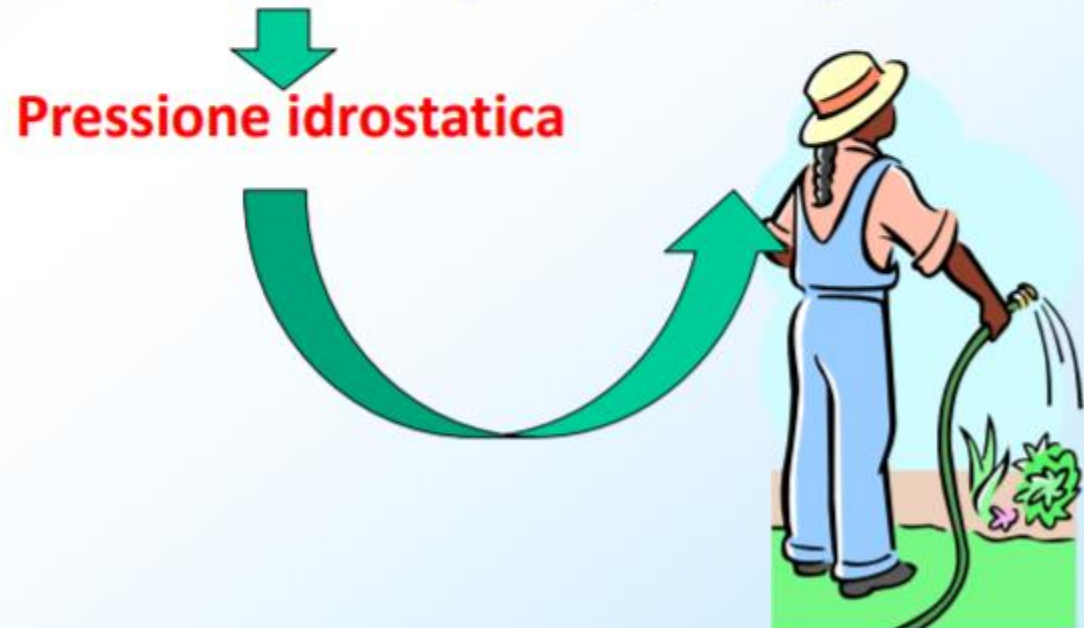
Gli zuccheri sintetizzati nelle cellule intermedie sono troppo ingombranti

→ possono accumularsi nelle cell intermedie e nel cribro

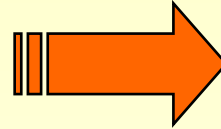
## I soluti si muovono nel floema mediante flusso di massa

Münch nel 1930 ipotizzò che la **traslocazione** avvenisse per **flusso di massa** in risposta ad un gradiente di pressione idrostatica e senza dispendio di energia.

I soluti si muovono nei tubi cribrosi secondo un gradiente di pressione idrostatica allo stesso modo con cui si muove l'acqua in una gomma per l'irrigazione



*I processi di caricamento del floema (nel source) e di scaricamento (nel sink) producono la forza motrice per il flusso dei soluti nel floema*



*La traslocazione dei fotosintati nel floema avviene per **flusso di massa o flusso di pressione** secondo **la teoria di Munch***

## **2 osmometri collegati fra loro da un tubo:**

### **1. Osmometro Source: (A)**

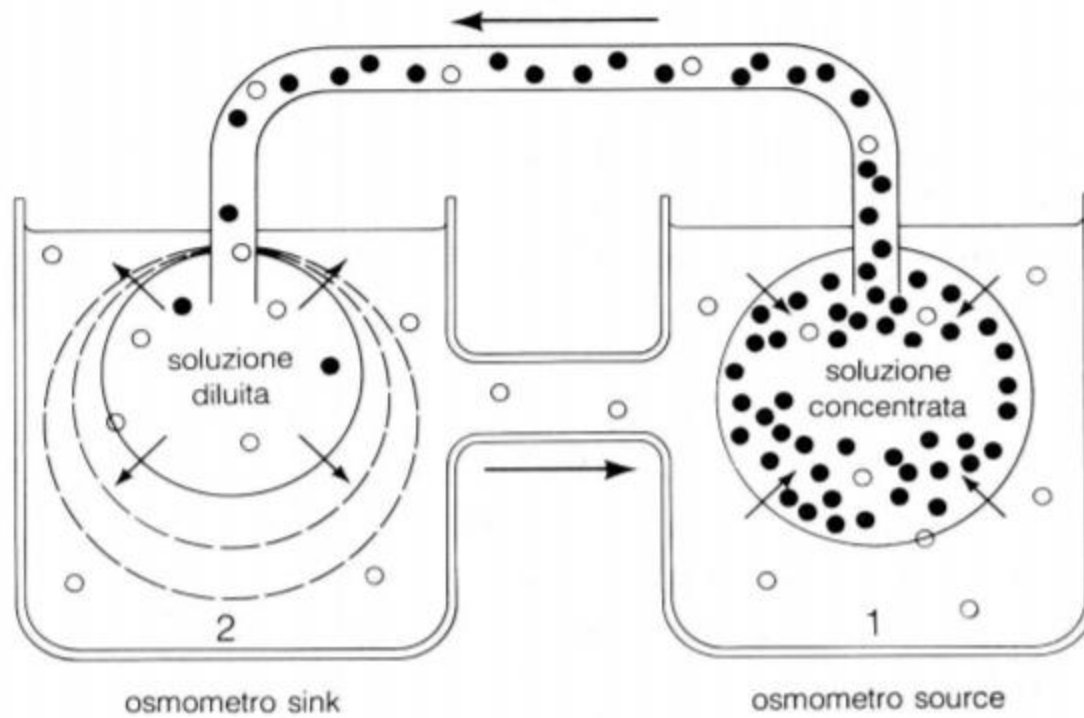
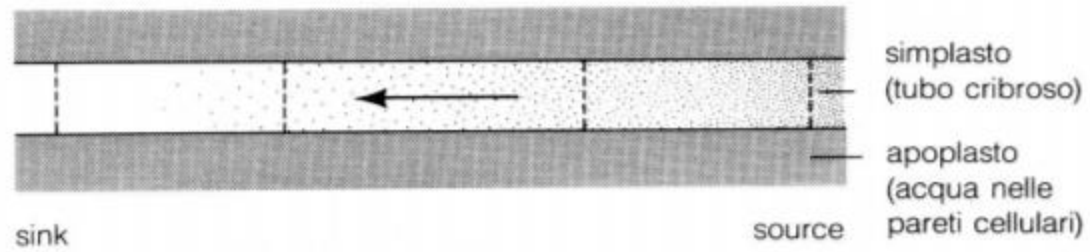
elevata concentrazione di soluti  $\longrightarrow$  **basso  $\psi$**   
richiamo di  $H_2O$   $\longrightarrow$  aumento p idrostatica ( **$\Psi_p$** )

La soluzione viene spinta verso la concentrazione minore

### **2. Osmometro Sink : (B)**

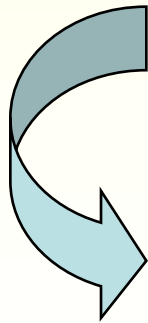
l'apporto di soluti +  $H_2O$   $\longrightarrow$  **Aumento p idrostatica ( $\Psi_p$ )**  
 $\longrightarrow$  fuoriuscita di  $H_2O$  all'esterno

strutture corrispondenti:



Secondo Munch nella pianta :

- **Gli elementi del cribro (floema)** vicino alle cellule fotosintetizzanti costituiscono il **I° osmometro "source"**: la concentrazione dei prodotti della fotosintesi è mantenuta elevata dalle cellule adiacenti del mesofillo.
- **All'estremità opposta** del sistema floematico, "**sink**", la concentrazione degli assimilati è mantenuta bassa (**II° osmometro**) in quanto essi vengono trasferiti ad altre cellule dove vengono utilizzati o accumulati sottoforma di amido.
- Il **canale di collegamento** fra source e sink è **il sistema floematico** con i suoi tubi cribrosi



***Il flusso nei tubi cribrosi è di tipo passivo**  
**secondo gradiente di pressione** determinato  
dall'ingresso di acqua per osmosi nei tubi cribrosi  
all'estremità source del sistema e dalla  
fuoriuscita all'estremità sink*

**Sorgente** (ad es, foglia matura)

1. I soluti entrano nel tubo cribroso mediante trasporto attivo (fase di carico)

3. La pressione di turgore spinge i soluti mediante il flusso di massa verso il **pozzo**: l'acqua entra ed esce dal tubo cribroso lungo tutto il suo percorso

5. I soluti escono dal floema ed entrano nelle cellule del **pozzo** (fase di scarico) causando un aumento del  $\psi_w$  del tubo cribroso del pozzo e quindi la fuoriuscita di acqua da tale tubo. L'acqua rilasciata rientra nello xilema.

Tubo cribroso

H<sub>2</sub>O

2. Un maggiore concentrazione di soluti nei tubi cribrosi riduce il  $\psi_w$  facendo entrare acqua ed alzando, così, la pressione di turgore

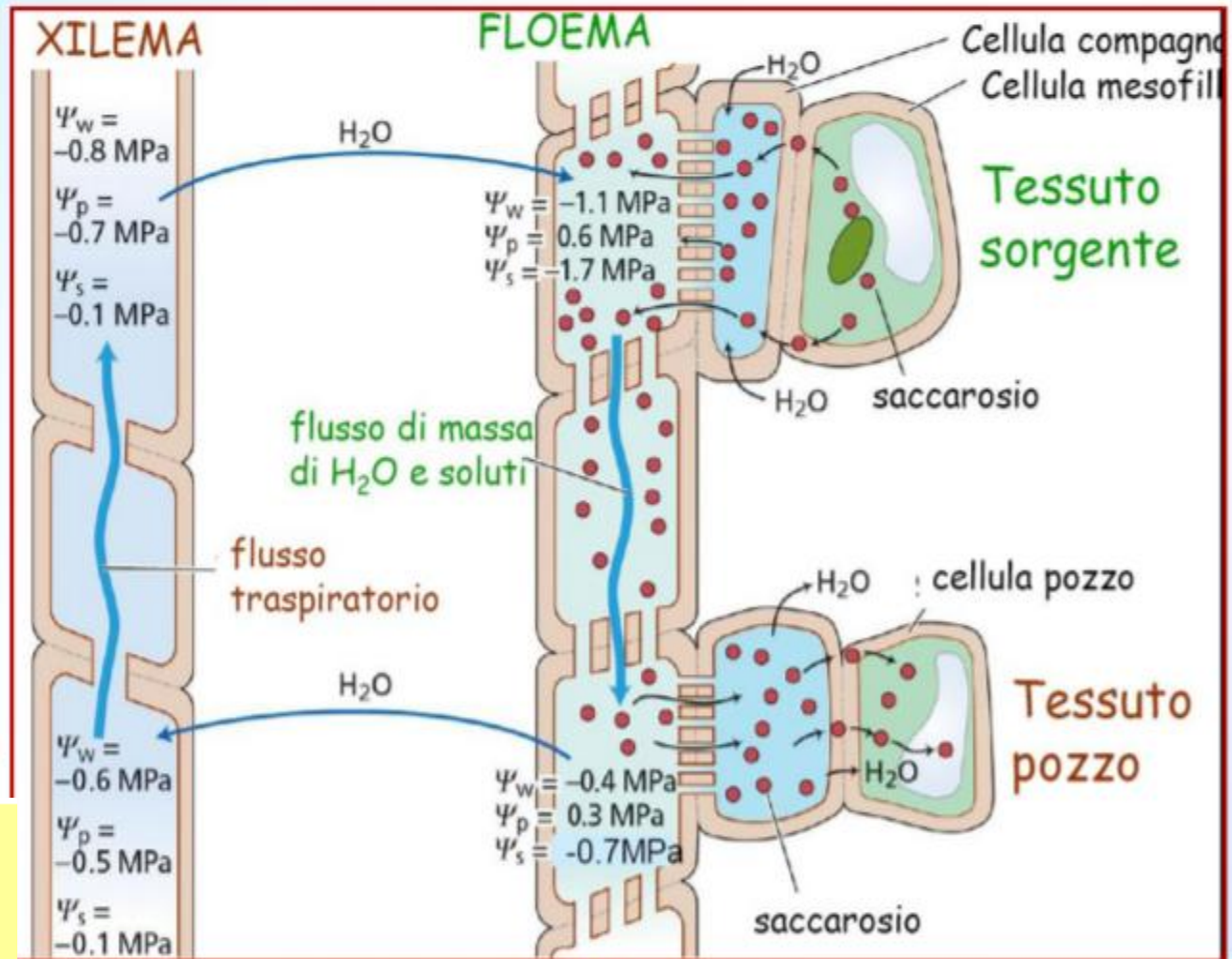
4. **Il flusso avviene in risposta ad un gradiente di P che si crea in seguito al caricamento e allo scaricamento del floema**

**pozzo**: ad esempio cellule della radice



Il risultato della differenza di pressione fa muovere l'acqua e quindi i soluti che sono semplicemente trasportati da una pressione positiva (flusso di massa).

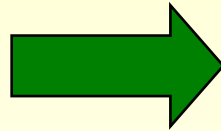
l' $H_2O$  si muove contro gradiente di potenziale idrico, ma il movimento è per flusso di massa e non per osmosi ( $\pi$  non contribuisce alla driving force)





Lo *scaricamento del saccarosio* avviene tramite un *Processo diffusivo* secondo gradiente di concentrazione:

Da un comparto  
più concentrato



verso un comparto  
a concentrazione minore

Il gradiente è garantito da una rapida rimozione  
del saccarosio che può essere:

- Accumulato
- Idrolizzato e consumato
- Inviato per via simplastica o apoplastica ai tessuti riceventi

# il saccarosio è idrolizzato dall'**INVERTASI**

